

# ГЕОЛОГИЯ XXI ВЕКА

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МАТЕРИАЛЫ  
VI МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ  
ПАМЯТИ АКАДЕМИКА А. П. КАРПИНСКОГО  
12–15 ноября 2024 г.



Санкт-Петербург  
2024

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации  
(Минприроды России)

Федеральное агентство по недропользованию  
(Роснедра)

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского»  
(ФГБУ «Институт Карпинского»)

# **ГЕОЛОГИЯ XXI ВЕКА.**

## **ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Материалы  
VI Международной конференции  
молодых ученых и специалистов  
памяти академика А. П. Карпинского

12–15 ноября 2024 г.  
Институт Карпинского, Санкт-Петербург

Санкт-Петербург  
Издательство ФГБУ «Институт Карпинского»  
2024

УДК 550.8:528(470+571)

ББК 26.3(2)

Г 36

**Геология XXI века. Передовые технологии и научно-методическое обеспечение регионального геологического изучения недр Российской Федерации.** Материалы VI Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского (12–15 ноября 2024 г., Институт Карпинского, Санкт-Петербург) [Электронный ресурс] / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «Институт Карпинского». – Электрон. текстовые данные. – СПб.: Изд-во Института Карпинского, 2024. – 1 опт. диск (DVD-ROM). – Системные требования: ПК; Windows; Acrobat Reader от 10.0; дисковод DVD-ROM. – Загл. с экра-на. – ISBN 978-5-00193-901-6

Материалы VI Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского включают расширенные тезисы докладов, охватывающие широкий спектр современных и актуальных научных направлений, связанных с региональным геологическим изучением недр. Рассматриваются традиционные и инновационные подходы к геологическому картографированию и прогнозно-поисковым работам, в том числе геофизические, геохимические, дистанционные, стратиграфо-палеонтологические и информационно-аналитические методы и технологии. В ряде тезисов обсуждается экология городов и прибрежных зон морских бассейнов, актуальные и современные пути развития регионального геологического изучения недр.

УДК 550.8:528(470+571)

ББК 26.3(2)

Главные редакторы

*П. В. Химченко, М. А. Ткаченко*

Ответственные редакторы и рецензенты

*Т. Н. Зубова, М. А. Шишкин, И. В. Вербицкий, В. В. Снежко, В. А. Жамойда, Е. П. Исаева,  
Г. А. Кирсанов, Г. А. Козлов, И. В. Кудрявцев, В. И. Леонтьев, Д. В. Назаров, Е. С. Носевич,  
Б. А. Марковский, И. А. Остроумова, Е. Г. Раевская, Д. В. Рябчук, А. Ю. Сергеев,  
В. С. Степанова, Т. Ю. Толмачева, В. В. Шатов, С. С. Шевченко, Ю. Ю. Юрченко*

ISBN 978-5-00193-901-6

© Роснедра, 2024

© ФГБУ «Институт Карпинского», 2024

© Коллектив авторов, 2024

© Издательство ФГБУ «Институт  
Карпинского», 2024

Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation  
(Minprirody of Russia)

Federal Subsoil Resources Management Agency  
(Rosnedra)

Federal State Budgetary Enterprise  
«All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky»  
(Karpinsky Institute)

**XXI-CENTURY GEOLOGY.**  
**ADVANCED TECHNOLOGIES, SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL**  
**SUPPORT OF THE RUSSIAN FEDERATION SUBSOIL**  
**REGIONAL GEOLOGICAL STUDY**

Proceedings of  
the VI International conference  
of young scientists and specialists  
in Academician A. P. Karpinsky's memory

12–15 November 2024  
Karpinsky Institute, Saint Petersburg

Saint Petersburg  
Karpinsky Institute Publishing House  
2024

**XXI-century geology. Advanced technologies, scientific and methodological support of the Russian Federation subsoil regional geological study.** Proceedings of the VI International conference of young scientists and specialists in Academician A. P. Karpinsky's memory (12–15 November 2024, Karpinsky Institute, Saint Petersburg) [Electronic resource] / Minprirody of Russia, Rosnedra, Karpinsky Institute. – Electronic text data. – St. Petersburg: Publishing House of Karpinsky Institute, 2024. – 1 optical disk (DVD-ROM). – System requirements: PC; Windows; Acrobat Reader 10.0 or later; DVD-ROM drive. – Title from the screen. – ISBN 978-5-00193-901-6

Proceedings of the VI International conference of young scientists and specialists in Academician A. P. Karpinsky's memory (12–15 November 2024, Karpinsky Institute, Saint Petersburg) include extended conference abstracts revealing a broad range of current and recent research areas pertinent to subsoil regional geological study. Traditional and innovative approaches to geological mapping, forecasting and prospecting work involve geophysical, geochemical, remote, stratigraphic and paleontological, information analysis methods and technologies. Some conference abstracts cover urban and sea basin coastal area ecology, recent and current trends of developing subsoil regional geological study.

UDC 550.8:528(470+571)

Editor-in-Chief

*P. V. Khimchenko, M. A. Tkachenko*

Publishing editors and peer reviewers

*T. N. Zubova, M. A. Shishkin, I. V. Verbitskiy, V. V. Snezhko, V. A. Zhamoida, E. P. Isaeva, G. A. Kirsanov, G. A. Kozlov, I. V. Kudryavtsev, V. I. Leontev, D. V. Nazarov, E. S. Nosevich, B. A. Markovskiy, I. A. Ostoumova, E. G. Raevskaya, D. V. Ryabchuk, A. Yu. Sergeev, V. S. Stepanova, T. Yu. Tolmacheva, V. V. Shatov, S. S. Shevchenko, Yu. Yu. Yurchenko*

РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ,  
ГЕОДИНАМИКА  
И ГЕОХРОНОЛОГИЯ

# ПАЛЕОМАГНЕТИЗМ МЕТАМОРФИЗОВАННЫХ ТОЛЩ – ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ НИЖНЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ ПЕСЧАНИКОВ УДОКАНСКОГО КОМПЛЕКСА ЮГА СИБИРСКОГО КРАТОНА

А. П. Беляков<sup>1,2</sup>, В. Ю. Водовозов<sup>1,2</sup>

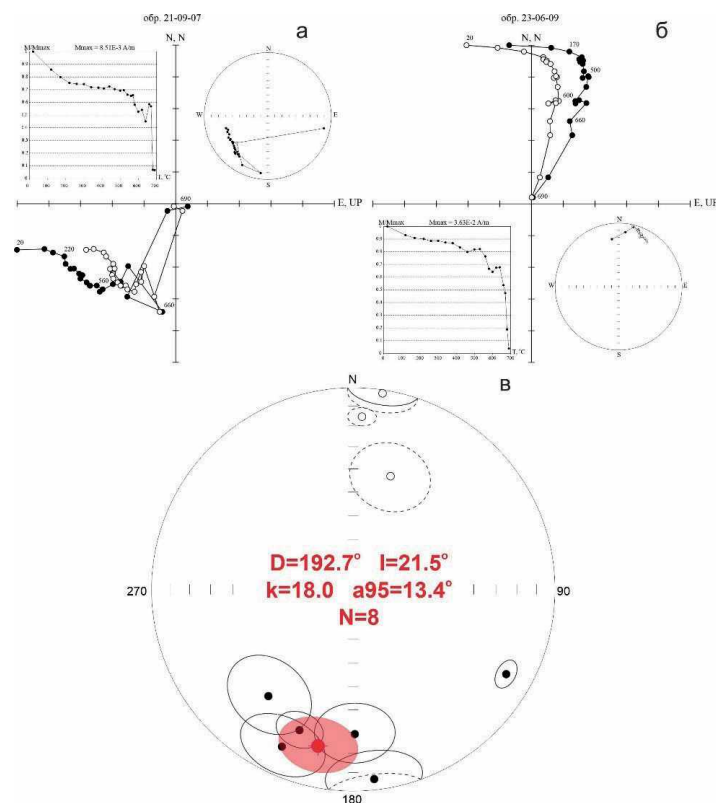
<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (МГУ), Москва

<sup>2</sup>Геологический институт Российской академии наук, Москва, [senya.belyakov03@mail.ru](mailto:senya.belyakov03@mail.ru)

Палеомагнитный метод позволяет количественно рассчитать палеоширотное положение изучаемых блоков, создавая тем самым каркас для палеотектонических реконструкций, но для успешного применения этого метода требуется целый ряд ограничений, одно из которых – слабопроявленные процессы метаморфизма. Это значительно сокращает возможные геологические объекты, пригодные для получения палеомагнитного определения, особенно в отношении докембрийских пород, в которых широко развиты процессы метагенеза и метаморфизма. Но если известно время проявления процессов метаморфизма и удастся датировать компоненты намагниченности относительно этого времени, то представляется возможным использование метаморфизованных или метаморфических пород для получения палеомагнитного определения (датированного направления древнего геомагнитного поля). В связи с широким развитием прецизионных изотопных методов датирования, такая задача может быть успешно решена. В нашей работе мы представляем результаты изучения палеомагнетизма метапесчаников удоканского комплекса юга Сибирского кратона.

Удоканский комплекс – мощная (до 13 км) протоплатформенная осадочная толща, залегающая на архейском фундаменте Алданского щита, она расчленяется на 4 серии, снизу вверх: джялтуктинскую, кодарскую, чинейскую и кеменскую [3]. Породы нижних двух серий сильно метаморфизованы и имеют возраст 2,02–1,91 млрд лет [5], эти толщи предлагается выделить в отдельный метаморфический комплекс [2; 5]. Верхние две серии метаморфизованы в гораздо меньшей степени, возраст самых молодых цирконов из песчаника чинейской серии составляет 1,90 млрд лет [4]. Сакуканская свита кеменской серии залегает стратиграфически выше чинейской серии. Возраст прорывающих удоканский комплекс гранитов кодарского комплекса и габброидов чинейского комплекса находится в интервале 1876–1867 млн лет [7; 8]. Породы кеменской серии накапливались таким образом в узком временном интервале 1,90–1,88 млрд лет, в этом же интервале произошла и складчатость. Породы претерпели метаморфизацию начальных стадий метагенеза, произошедшую, вероятно, в узком интервале 1,88–1,89 млрд лет. На это указывают U/Pb возраста титанита из рудной зоны сакуканской свиты  $1896 \pm 2$  млн лет [11] и метаморфогенные цирконы из близлежащего Катугинского массива с возрастом  $1876 \pm 7$  млн лет [6]. Если предположить, что рудообразование протекало одновременно с накоплением толщи [2], то последующие складчатость и частичный метаморфизм соответствуют скорее всего интервалу 1,89–1,88 млрд лет. Породы верхних двух серий удоканского комплекса накапливались на стадии коллапса орогенного сооружения, сразу после основного этапа орогенеза 1,91–1,90 млрд лет, приведшего к объединению Алданского и Станового супертеррейнов и непосредственно перед внедрением больших интрузивных постколлизийных массивов [2]. Метаосадочные породы кеменской серии, таким образом, едва ли не самые древние породы, по которым можно получить надежное палеомагнитное определение, максимально близкое к времени амальгамации Сибирского кратона.

Для палеомагнитного анализа был отобран 121 образец из 9 сайтов (точек отбора), расположенных в пределах Намингинской синклинали хр. Удокан, примерно поровну из средне- и верхнесакуканской подсвит. Сайты отобраны на разных крыльях синклинали, с углами падения от 23 до 150° (перевернутое залегание). Породы представлены мелкозернистыми песчаниками с проявлениями начального метагенеза. В шлифах определяются кварц, полевой шпат, серицит, образовавшийся по глинистому цементу, вторичный биотит, по которому развиваются хлорит, пирит и вторичный кальцит. Отчетливо видны проявления бластеза.



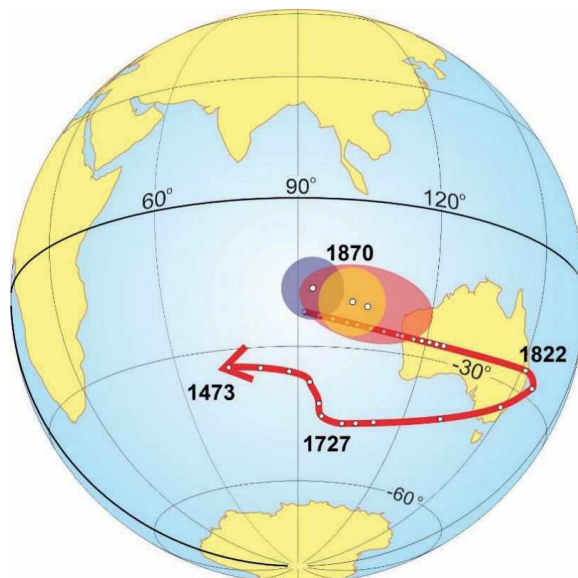
**Рис. 1. Результаты магнитной чистки метапесчаников удоканского комплекса**

*a* и *б* – диаграммы Зийдervельда, кривые размагничивания и стереограммы отдельных образцов, *в* – стереограмма со средними направлениями по сайтам (древняя система координат, красным цветом выделено среднее направление выборки)

Перед началом термочистки была измерена объемная анизотропия начальной магнитной восприимчивости (АМВ). В среднем ее величина не превышает 6 %, представлен преимущественно плоскостной тип АМВ, в древней системе координат короткая ось эллипсоида АМВ субвертикальна, а длинная – субгоризонтальна и группируется в ЮЗ и СВ румбах. По величине естественной остаточной намагниченности (ЕОН) образцы достаточно сильные, начальная величина ЕОН среднего образца достигает 28 мА/м. Ступенчатая температурная чистка всех образцов проводилась до полного размагничивания образцов, на диаграммах Зийдervельда выделяются 2–3 компоненты ЕОН и круги перемагничивания (рис. 1, *a*, *б*). При совместном анализе высокотемпературных компонент ЕОН и кругов перемагничивания удалось рассчитать средние направления для всех точек. На стереограмме (рис. 1, *в*) они образуют биполярное распределение в СВ и ЮЗ румбах с пологими наклонениями, тест обращения положительный ( $\gamma/\gamma_c = 6,3/27,1$ ). Один сайт сильно отклоняется от других. Возможно, это связано с неполным введением тектонической поправки (здесь отмечено перевернутое залегание) или локальным вращением (сайт расположен вблизи большого разлома). Среднее направление по 8 точкам:  $D = 192,7^\circ$   $I = 21,5^\circ$   $k = 18,0$   $a95 = 13,4^\circ$  (в древней системе координат), тест складки в модификации DC [10] положительный, максимальная кучность при пропорциональном распрямлении складок достигается при 110 %. Полюс, рассчитанный по этому направлению ( $Plat = -21,4^\circ$   $Plong = 105,1^\circ$   $dp/dm = 7,5/14,1$ ), совпал с полюсами раннепротерозойских гранитов кодарского комплекса и габброидов чинейского комплекса Удокана [1] (рис. 2). Согласно этому определению, Олёкминский блок находился 1,9 млрд лет назад в приэкваториальных ( $11^\circ$ ) широтах.

Возраст нашего полюса отвечает, вероятно, интервалу 1,89–1,88 млрд лет, возможно, что он практически неотличим от времени внедрения наиболее древних постколлизийных интрузивных комплексов (1,88–1,87 млрд лет), но положительный тест складки все же говорит о более древнем относительном возрасте полюса удоканского комплекса. Большая ошибка полученного





**Рис. 2. Сравнение полученного в работе палеомагнитного полюса по удоканскому комплексу (красный цвет) с полюсами по чинейскому (сиреневый) и кодарскому (желтый) комплексам**

Красным цветом обозначена палеопротерозойская траектория кажущейся миграции палеомагнитного полюса Сибири [9], цифры у траектории – ориентировочный возраст в млн лет

определения оставляет возможности для незначительных взаимных разворотов отдельных массивов, но наши данные *позволяют* утверждать, что жесткая структура Олёкминского блока Алданской провинции сформировалась к 1,88 млрд лет.

Наш опыт показывает возможность получения палеомагнитных данных по метаморфизованным породам, расширяя тем самым круг потенциальных геологических объектов.

### Литература

1. Водовозов В. Ю., Зверев А. Р., Котов А. Б. и др. Сибирский кратон в раннем протерозое – от террейнов до суперконтинента // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты. Материалы XLVII Тектонического совещания. – М. : ГЕОС, 2015. – С. 69–73.
2. Гладкочуб Д. П., Мазукабзов А. М., Донская Т. В. Феномен аномально быстрого накопления отложений удоканской серии и формирования уникального Удоканского медного месторождения (Алданский щит, Сибирский кратон) // Геодинамика и тектонофизика. – 2020. – Т. 11, № 4. – С. 664–671.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Удоканская. Лист О-50-XXXV (Наминга). Объяснительная записка. – СПб. : Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2004. – 112 с.
4. Ковач В. П., Котов А. Б., Гладкочуб Д. П. и др. Возраст и источники метапесчаников чинейской подсерии (Удоканская серия, Алданский щит): результаты U–Th–Pb геохронологического (LA-ICP-MS) и Nd изотопного изучения // Докл. РАН. Науки о Земле. – 2018. – Т. 482, № 2. – С. 1138–1141.
5. Ковач В. П., Ларин А. М., Котов А. Б. и др. Возраст кодарской серии западной части Кодаро-Удоканского прогиба (Алданский щит): результаты U–Th–Pb (LA-ICP-MS)-геохронологических исследований // Докл. РАН. Науки о Земле. – 2024. – Т. 514, № 1. – С. 32–38.
6. Котов А. Б., Сальникова Е. Б., Толмачева Е. В. и др. Возраст преобразований редкометалльных щелочных гранитов Катугинского массива (Алданский щит) // Докл. РАН. Науки о Земле. – 2018. – Т. 478, № 1. – С. 54–58.
7. Ларин А. М., Котов А. Б., Сальникова Е. Б. и др. Новые данные о возрасте гранитов кодарского и тукурингрского комплексов, Восточная Сибирь: геодинамические следствия // Петрология. – 2000. – Т. 8, № 3. – С. 267–279.
8. Попов Н. В., Котов А. Б., Постников А. А. и др. Возраст и тектоническое положение Чинейского расслоенного массива (Алданский щит) // Докл. РАН. Науки о Земле. – 2009. – Т. 424, № 4. – С. 517–521.
9. Didenko A. N., Vodovozov V. Yu., Peskov A. Yu, et al. Paleomagnetism of the Ulkan massif (SE Siberian platform) and the apparent polar wander path for Siberia in late Paleoproterozoic – early Mesoproterozoic times // Precambrian Research. – 2015. – Vol. 259. – P. 58–77.
10. Enkin R. J. The direction-correction tilt test: an all-purpose tilt/fold test for paleomagnetic studies // Earth and Planetary Science Letters. – 2003. – Vol. 212. – P. 151–166.
11. Perello J., Sillitoe R. H., Yakubchuk A. S. et al. Age and tectonic setting of the Udokan sediment-hosted copper-silver deposit, Transbaikalia, Russia // Ore Geol. Rev. – 2017. – Vol. 86. – P. 856–866.

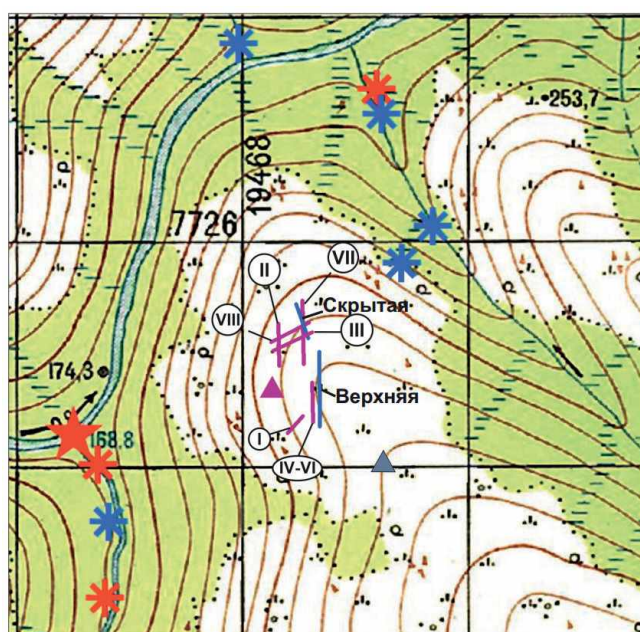
# ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ВОЗРАСТ КИМБЕРЛИТОВ ВЕРХНЕКУОНАМСКОГО КИМБЕРЛИТОВОГО ПОЛЯ

Д. И. Гилязов, М. А. Калинин, А. Д. Савельев

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, dinar\_ilvirovich@karpinskyinstitute.ru*

На восточном обрамлении Анабарского щита выявлены сотни кимберлитовых тел преимущественно триасово-юрского возраста, образующих дугообразную Куонамскую зону и объединенных в девять кимберлитовых полей – Билляхское, Орто-Наргинское, Старореченское, Ары-Мастахское, Дюкенское, Биригиндинское, Лучаканское, Куранахское и Сенкю-Оленёкское. Границы полей являются условными и, по мнению некоторых авторов, многие из них могут быть объединены: например, Дюкенское, Ары-Мастахское и Старореченское [2]. В середине 1980-х годов геологами НПО «Аэрогеология» В. А. Истоминым и Л. И. Шахотько на территории Анабарского щита выявлены кимберлитовые тела в 100 км к западу от ближайших вышеперечисленных полей, на р. Бол. Куонамка (в районе ее притоков Сербьян и Хатырык), что послужило основанием для выделения нового Верхнекуонамского кимберлитового поля (в работе Зайцева и Смелова [5] рассматривается как часть Ары-Мастахского поля).

Верхнекуонамское кимберлитовое поле расположено в верхнем течении р. Бол. Куонамка среди наиболее древних пород далдынской серии архея. Кимберлитовое поле изучено слабо, открыты тр. Сербьян и дайка Хатырык и еще ряд небольших тел. Впервые кимберлиты на уч. Сербьян установлены геологами объединения «Аэрогеология» в результате заверки фотоаномалий, выделенных Л. И. Шахотько в 1981 г., а затем геофизических аномалий трубчатого типа [8]. Кимберлиты представляют собой даечные тела и приурочены к зоне повышенной трещиноватости северо-восточного простирания в правом борту р. Бол. Куонамка, вблизи западной тектонической границы Желиндинской глыбы. Кимберлиты не обнажаются на дневной поверхности, перекрыты крупными глыбами и валунами метаморфических пород, вскрыты лишь шурфами, траншеями и скважинами. На участке было выявлено шесть



Условные обозначения:

Дайковые тела кимберлитов:

— Выявленные в 2024 году Анабарской партией

— Выявленные в ходе работ Аэрогеологии [Истомин, 1992]

Кимберлитовая трубка (шток) Сербьян:

▲ По данным Объект Щит, 2003

▲ По данным Гусева и др., 2020 (точно по координатам)

МСА 1-2 классов окатанности (по данным предшественников):

★ Пикроильменит

★ Пироп

Кимберлиты участка Сербьян (Верхнекуонамское кимберлитовое поле)

субмеридионально ориентированных жильных тел альнеитов и два тела кимберлитов северо-восточного (35°) простирания. На основании результатов горных, буровых и опытно-методических геофизических работ, которые были выполнены Амакинской экспедицией, предполагается наличие на уч. Сербьян штокообразного тела кимберлитов [9].

Кимберлитовую трубку (в ряде случаев шток) Сербьян зачастую путают с дайкой Дюймовочка (Сербьян 1 (I) в отчете В. А. Истомина), что вызывает трудности при интерпретации данных предшественников. В настоящее время дайка Дюймовочка представляется наиболее изученной, однако, если обратить внимание на локализацию тела по данным В. А. Истомина, Д. К. Ходжаева и Н. И. Гусева, то наблюдается различное их расположение – является ли это одним и тем же телом, ответить пока трудно.

В ходе полевых работ 2024 г. Анабарской партией-2 обнаружены дайки кимберлитов, которым были даны названия Скрытая и Верхняя (рисунок). Скрытая характеризует новое для Сербьянского участка простирание – северо-западное, попадая при этом в узел пересечения тел со всеми известными на участке ориентировками (тела II, III, VII, VIII по Истомину). Новое простирание достоверно прослежено по характерному валу и копушам со слюдыстым зеленоцветным материалом и мелким обломкам кимберлитов. В связи с отсутствием возможности точной привязки детальной карты В. А. Истомина сопоставить дайку Верхняя с телами на данной карте не удастся, хотя не исключено, что речь может идти об одном и том же теле кимберлитов. Поскольку данная часть анабарского щита характеризуется высоким эрозионным срезом, геофизические данные не подтверждают наличие крупного штокообразного тела на уч. Сербьян, то можно предположить, что данные дайки кимберлитов являются лишь подводящими каналами.

На уч. Сербьян дайки сложены гипабиссальными породами флогопит-мелилит-оливинового состава [8]. Текстура массивная, структура порфировая с трахитоидной основной массой. Порфировые выделения представлены оливином и флогопитом. Оливин (15–20 % объема) образует преимущественно идиоморфные порфировые, иногда гломеропорфировые выделения размером от 0,05–0,1 до 0,7–1,0 мм, редко более. Флогопит (до 2–3 % объема) представлен выделениями призматической формы, размером от долей миллиметра до 1,5–2,0 мм. В кристаллах флогопита отмечены многочисленные включения кальцита, минералов основной массы породы, а также оливина. Иногда фиксируются сростания кристаллов флогопита с оливином. По составу основной

**Возрасты формирования тел Верхнекуонамского кимберлитового поля по [5]  
и другим (также добавлены возрасты тел юго-западной оконечности Ары-Мастахского поля  
в пределах листа R-49-XXI, XXII)**

Объект/тело	Проба/порода	Метод	Возраст	Источник/лаборатория
<b>Мезозойские возрасты</b>				
Тр. Хардах	КВМ, АМ-Ха/1	Rb-Sr (изх)	211 ± 11	ИГАБМ
Тр. Хардах		Rb-Sr (изх)	214	[4]
Дайка Хутурук-3 (Хатарык-3)	К, Хт3-5347/1	U-Pb (пер)	224 ± 2	[6]
Тр. Хардах	КВМ, АМ-Ха/1	Rb-Sr (изх)	227 ± 4	ИГАБМ
Дюймовочка-2	К, Дм2-5238/2	U-Pb (пер)	229 ± 3	[6]
Хатырык - 3		U-Pb (пер)	232	[9]
Дайка Сербьян	К	Rb-Sr (изх)	233,5 ± 9,0	[1] Университет Хоккайдо
<b>Палеозойские возрасты</b>				
Тр. Бумеранг	КБМ, АМ-Бм/1	Rb-Sr (изх)	280 ± 7	ИГАБМ
Тр. Хардах	КВМ, АМ-Ха/1	Rb-Sr (изх)	314 ± 5	ИГАБМ
Дайка Дюймовочка	Мелилитит, Ск-Дм-1/1	Rb-Sr (изх)	348 ± 3	ИГАБМ
Дайка Сербьян		Rb-Sr (изх)	362	[8]
Дайка Дюймовочка	Мелилитит, Ск-Дм-1/2	Rb-Sr (изх)	367 ± 2	ИГАБМ
Тр. Бумеранг	КБМ, АМ-Бм/2	Rb-Sr (изх)	382 ± 1	ИГАБМ

массы породы разделены на две разновидности: 1) хлорит-флогопит-серпентин-мелилитовую и 2) хлорит-флогопит-серпентин-перовскитовую [8]. В составе основной массы присутствуют лейстовидные выделения кальцита, флогопита, мелилита, мелкие кристаллы перовскита, магнетита, миллерита, шпинели, а также амфиболы.

Возможная алмазоносность Верхнекуонамского поля подтверждается находками в современном аллювии р. Сербьян 2 неизношенных алмазов массой 44,9 мг и 1 алмаза массой 1,3 мг по р. Оюр-Юрях (IV-3-17,18) [3]; ассоциации высокохромистых пикроильменитов в аллювии р. Сербьян, которая сочетается с ильменитами этого же состава в россыпи, расположенной в нижнем течении р. Бол. Куонамка без привязанного коренного источника. При этом пикроильмениты по р. Сербьян являются высокохромистыми, в отличие от низкохромистых Дюкенского и Ары-Мастахского кимберлитовых полей, расположенных ниже по течению р. Бол. Куонамка [3]. Еще одним аргументом может быть предполагаемый среднепалеозойский возраст одной из фаз кимберлитов [2].

Однако оценки интервала формирования тел Верхнекуонамского кимберлитового поля разнятся (см. таблицу): среднепалеозойский (350 млн лет) [10], нижнетриасовый [9]. По результатам прогнозно-минерагенических исследований [7] возраст кимберлитов тр. Сербьян и по аналогии с ней – дайки Хатырык является среднетриасовым (определения U-Pb возраста по перовскиту из кимберлитов Верхнекуонамского поля, тр. Хатарык-3 – 224 млн лет, тр. Дюймовочка-2 – 229 млн лет [6]). По мнению Ф. Ф. Брахофогеля, большое количество ксеногенной примеси архейских пород может удревнять Rb-Sr датировки, поэтому для тр. Хардах возраст был определен в 214 млн лет [4]. Таким образом, U-Pb датировки по перовскиту [6] вызывают больше доверия и подтверждаются Rb-Sr возрастом [1]. Наличие среднепалеозойского этапа магматизма требует дополнительных подтверждений и доказательств.

### Литература

1. Агашев А. М., Похиленко Н. П., Толстов А. В. и др. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутской кимберлитовой провинции // Докл. РАН. – 2004. – Т. 399, № 1. – С. 95–99.
2. Граханов С. А. Особенности формирования и закономерности размещения россыпей алмазов северо-востока Сибирской платформы: Автореф. докт. дисс. – Якутск, 2007.
3. Граханов С. А. Перспективы коренной алмазоносности Анабарского кристаллического массива // Вестник Госкомгеологии: Материалы по геологии и полезным ископаемым Республики Саха (Якутия). – 2001. – № 1. – С. 65–74.
4. Истомин В. А., Шахотько Л. И., Щербакова И. П. и др. Геолого-минерагеническое картирование масштаба 1 : 200 000 в пределах листов R-49-XVI (южная половина); R-49-XXI, R-49-XXVII: XXVIII. Отчет партии № 15 за 1988–1992 гг. в двух книгах. Космоаэрогеологическая экспедиция № 3, 117292. М., 1992.
5. Зайцев А. И. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции / А. И. Зайцев, А. П. Смелов; отв. ред. В. С. Шкодзинский. – Якутск : Офсет, 2010. – 107 с.
6. Кинни П. Д., Гриффин Б. Дж., Хеамен Л. М. и др. Определение перовскитов из Якутских кимберлитов ионно-ионным масс-спектрометрическим (SHRIMP) методом // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – С. 91–98.
7. Колесников А. А. Отчет. Изучение вещественного состава и закономерностей размещения проявлений редких и радиоактивных элементов и проведение опытно-методических работ по оценке применимости шлихоминералогического метода при поисках алмазов в условиях развития докембрийских кристаллических комплексов Анабарского щита в 2000–2003 гг., Мирный, 2003.
8. Мингазов Д. Т., Голота Л. Е., Истомин В. А. Первые находки палеозойских кимберлитов в центральной части Анабарского щита // Докл. РАН. – 1996. – Т. 347, № 1. – С. 72–76.
9. Прокопьев С. А., Зырянов В. М., Егорова П. Е. и др. Отчет о результатах поисков коренных месторождений алмазов на северо-восточном склоне Анабарского щита (бассейн реки Большая Куонапка) в 1995–2001 гг. 623 стр. (кн. 1, 2), 103 рис., 79 табл., 357 стр. текст. прил. (кн. 3, 4), 54 стр. - каталог аномалий (кн. 5), 123 стр. – каталог локальных аэромагнитных аномалий (кн. 6), 226 л. граф. прил., 215 библиограф. Амакинская ГРЭ АК «АЛРОСА», пос. Айхал, ноябрь 2001 г. (ГГП Росгеолфонд, ГУП «Сахагеоинформ», Амакинская ГРЭ). R-49-IX-XII, XV-XVIII, XXI-XXIV, XXIX, XXX; R-50-XIX, XX, XXV, XXVI. Республика Саха (Якутия).
10. Шахотько Л. И., Андреева С. М., Щербакова И. П. и др. Отчет по космофотогеологическому картированию масштаба 1 : 500 000 на площади листов R-48,49 за 1981–1986 гг. ПГО «Аэрогеология». М., 1986. Росгеолфонд, № 423247.

# ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЛИНЗОВИДНЫХ ТЕЛ МЕТАКАРБОНАТНЫХ ПОРОД ХАПЧАНСКОЙ СЕРИИ, ЮГО-ЗАПАД АНАБАРСКОГО ЩИТА

Д. Р. Донченко<sup>1</sup>, Е. Ю. Акимова<sup>1</sup>, А. Д. Савельев<sup>1,2</sup>, К. Е. Васюкевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, st097747@student.spbu.ru

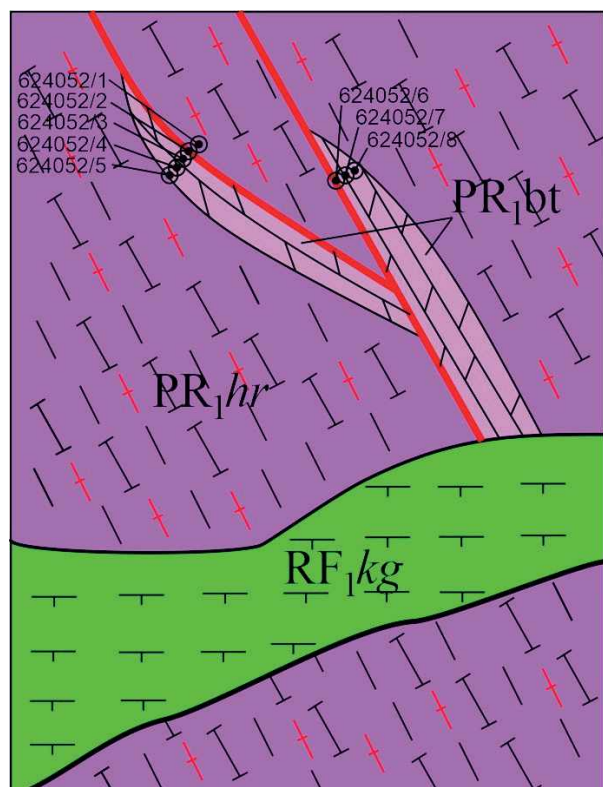
<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург

Анабарский щит представляет собой сильно эродированный участок Сибирского кратона площадью около 62 тыс. км<sup>2</sup>. В тектоническом плане щит состоит из двух террейнов архейского возраста: Маганского тоналит-трондьемит-гнейсового и Далдынского гранулит-ортогнейсового, а также Хапчанского метакарбонатно-метаграуваккового палеопротерозойского седиментогенного пояса на востоке. Границы между этими тремя геологическими образованиями отмечены зонами смятия: западной Котуйкан-Монхолинской и восточной Салтах-Билляхской, в пределах которых распространены бластомилониты и катаклазиты.

В настоящее время в строении Хапчанского пояса выделяются две серии: верхняя хапчанская и нижняя хардахская. Хапчанская сложена метаосадочными породами, среди которых залегают линзовидные тела метакарбонатных пород, хардахская – двупироксеновыми и ортопироксеновыми гнейсами гранулитовой фации метаморфизма [3].

В ходе полевых работ 2024 г. Анабарской партией-2 Института Карпинского на территории Сергеевской площади (листы R-49-XXI, XXII) среди толщ гранитогнейсов были обнаружены два линзовидных тела метакарбонатных пород (рис. 1), контрастно различающихся по минеральному составу, одно из которых выделяется зональным строением. Было выполнено более детальное картирование участков, включающих данные линзовидные тела.

На первом участке наблюдались выходы метакарбонатных пород хапчанской серии (обр. 624052/5 на рис. 1) среди пород хардахской серии. Породы хардахской серии представлены гранитизированными биотит-пироксеновыми и пироксеновыми гнейсами, для которых характерны гнейсовидная текстура, структура от средне- до мелкозернистой, гранобластовая и лепидогранобластовая. Гнейсы состоят из кварца (10–50 %), плагиоклаза (10–50 %), пироксена (0–25 %), гиперстена (0–25 %), биотита (0–25 %), встречается гранат (вероятно, алмадин). По всей толще гранито-гнейсов наблюдалась наложенная диопсидовая минерализация в виде прожилков и замещения по гиперстену. В гнейсах встречаются секущие прожилки диопсида и трещины под углом 30° к гнейсовидности. Контакт между гнейсами и линзой метакарбонатов начинается с перехода от биотитовых гнейсов к диопсидовой породе, имеющей мелкозернистую структуру



Условные обозначения:

- 624052/5 точка опробования и ее номер
- RF<sub>1kg</sub>  долериты, кенгединский комплекс
- PR<sub>1hr</sub>  гранитизированные биотит-пироксеновые гнейсы, хардахская толща
- PR<sub>1bt</sub>  кальцифиры, билээх-тамахская толща
- разрывные нарушения

**Рис. 1.** Детальная карта-схема участка, где наблюдались линзы метакарбонатов



**Рис. 2. а – анортит-диопсидовый прожилок в гранитогнейсе хардахской серии, б – мелкая складчатость в метакarbonатной породе**

и гнейсовидную текстуру. Далее мелкозернистая диопсидовая порода переходит в крупно- и гигантозернистую разновидность. Центральная часть линзовидного тела сложена гигантозернистыми метакarbonатами серовато-белого цвета, сложенными carbonатом (вероятно, кальцитом) (30–60 %), диопсидом (10–50 %), минералами группы гумита (0–20 %), скаполитом (0–10 %), кварцем (10–30 %). Мощность толщи метакarbonатов – около 0,9 м.

На втором участке (обр. 624052/6-8) вмещающие породы представлены гранитизированными пироксеновыми и биотит-пироксеновыми гнейсами хардахской серии, с мелкозернистой, лепидогранобластовой структурой, гнейсовидной текстурой. Во вмещающих породах распространены многочисленные трещины, заполненные диопсидом и анортитом. Среди гранито-гнейсов наблюдались сильно рассланцованные метакarbonатные породы. В метакarbonатах, как и во вмещающих породах, наблюдаются следы тектонических деформаций: трещины, выполненные глинистыми минералами и кальцитом, и складчатость. Состав метакarbonатных пород на этом участке, в отличие от первого, достаточно постоянен: carbonат (30–60 %), кварц (10–30 %), скаполит (0–10 %), волластонит (0–10 %), КПШ (10–30 %), диопсид (10–20 %). Текстура пород – от массивной до сланцеватой, структура мелко- и среднезернистая. Мощность линзы – около 5–6 м.

В непосредственной близости от участка работ (8 км к северо-западу, район течения р. Бол. Куонамка) также описаны проявления метакarbonатных пород [3]. Мраморы и carbonатно-силикатные породы в виде узкой полосы разделяют поля распространения пород хардахской и хапчанской серий. Таким образом, метакarbonатные породы могут рассматриваться как маркирующий горизонт на границе серий, а изученные нами линзовидные тела, по всей видимости, также являются частью этого горизонта. Кроме того, такая особенность как зональное строение некоторых тел метакarbonатных пород требует дальнейшего изучения.

### Литература

1. Акимова Е. Ю., Гусев Н. И., Савельев А. Д. и др. Метакarbonатные породы палеопротерозойской хапчанской серии (юго-восточная часть Анабарского щита): минеральный и химический состав, условия метаморфизма // Записки Горного института. – 2024. В печати.
2. Гусев Н. И., Пушкин М. Г., Круглова А. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Лист R-49 – Оленёк. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 448 с.
3. Скублов С. Г., Гусев Н. И., Кузнецов А. Б. и др. Редкоэлементный состав дискордантного циркона как отражение флюидного режима палеопротерозойского гранулитового метаморфизма (Хапчанский террейн, Анабарский щит) // Геохимия. – 2024. – Т. 62, № 8. – С. 793–804.

# МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ПОРОД ЗАПАДНО-БИРИГИНДИНСКОГО КАРБОНАТИТОВОГО МАССИВА, АНАБАРСКИЙ ЩИТ

М. А. Ефремов<sup>1</sup>, Н. А. Алфимова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

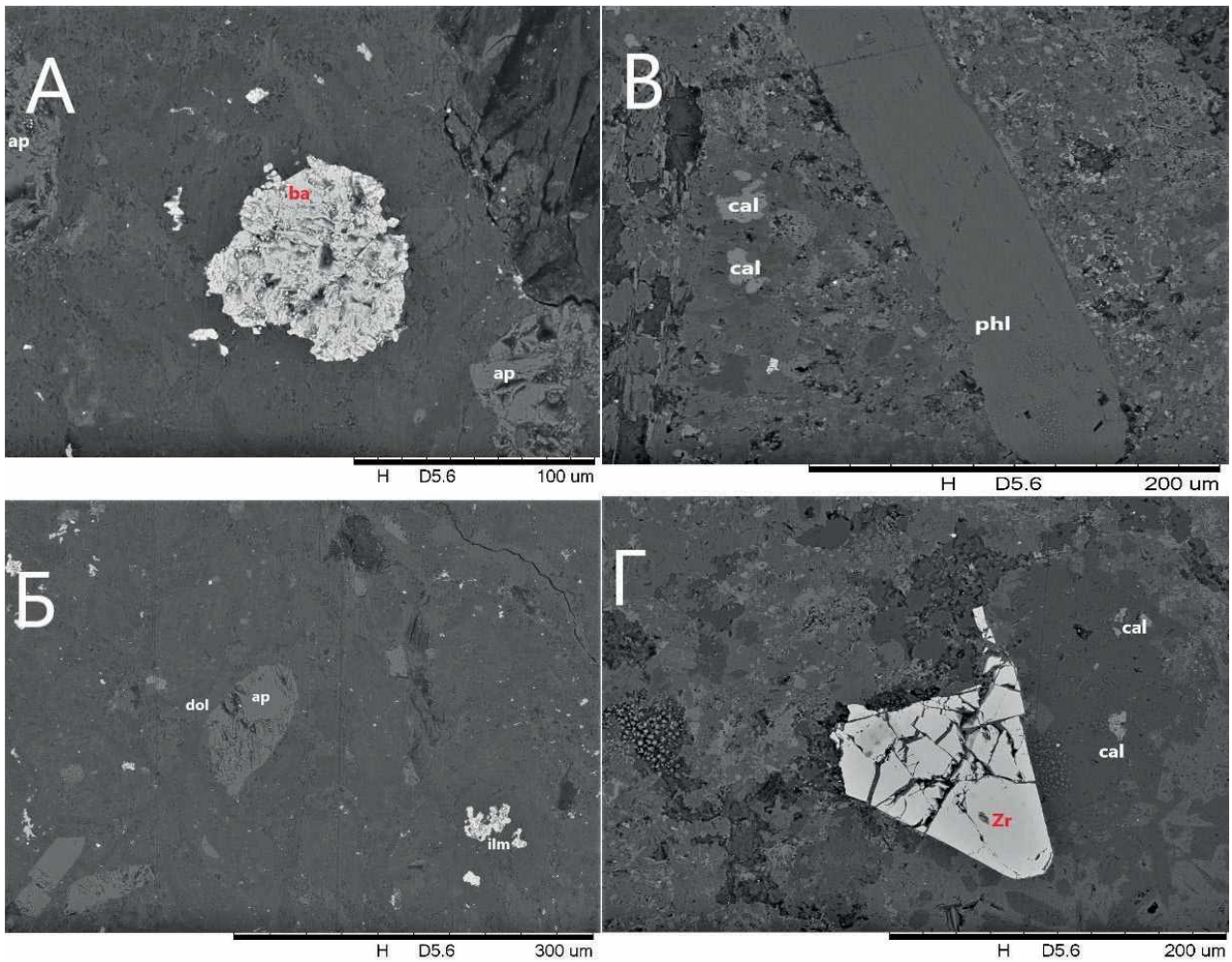
<sup>2</sup>Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург,  
st098022@student.spbu.ru

В 1980-е годы по геофизическим данным в обрамлении юго-восточной части Анабарского щита был обнаружен Западно-Биригиндинский карбонатитовый массив, после чего его исследованием не занимались. В ходе полевых работ в рамках ГДП-200 Анабарской партии-2 ФГБУ «Институт Карпинского» на территории Куонамской площади (лист R-49-XXIII, XXIV) в 2022 г. были отобраны образцы пород, которые являются объектом данного исследования. Целью исследования явилось установление породообразующих и второстепенных минералов, слагающих породы Западно-Биригиндинского карбонатитового массива.

Западно-Биригиндинский карбонатитовый массив локализован в восточной части Анабарского щита в пределах Биригиндинского редкометалльного района и реконструируется по серии поднятий, в которых локализованы карбонатит-альнеитовые тела, не выходящие на дневную поверхность (Гусев и др., 2016).

## Химический состав минералов пород Западно-Биригиндинского массива, масс. %

Доломит									
Номер образца	Номер спектра	CaO	MgO	FeO	Сумма				
77/4	4	83,728	16,272		100				
77/4	5	74,317	24,335	1,348	100				
77/4	10	74,445	25,555		100				
78/4	53	72,249	27,751		100				
78/4	54	71,937	28,063		100				
78/4	55	77,076	22,924		100				
Барит									
Номер образца	Номер спектра	SiO <sub>2</sub>	BaO	SO <sub>3</sub>	CaO	CoO	Сумма		
77/4	1		67,16	32,81		0,03	100		
77/4	2		66,006	33,635		0,359	100		
77/4	6		68,827	31,173			100		
78/4	40	2,835	62,992	33,257	0,917		100		
78/4	42		62,405	32,386			100		
78/4	50		68,025	30,884	1,091		100		
78/4	51		66,071	30,488			100		
Гидроксилпатит									
Номер образца	Номер спектра	CaO	MgO	SrO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	WO <sub>3</sub>	Сумма		
77/4	12	51,477		3,273	42,041		96,791		
77/4	13	50,6			45,545		100		
77/4	16	56,48			43,52		100		
77/4	17	54,19	0,919	2,902	41,988		100		
77/4	18	52,193			44	3,807	100		
77/4	19	56,005			43,995		100		
78/4	68	57,2			42,8		100		
78/4	69	55,7			44,3		100		
Циркон									
Номер образца	Номер спектра	SiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Сумма			
78/4	36	33,133	64,182	1,516	1,169	100			
78/4	37	32,41	67,59			100			
78/4	38	31,612	68,388			100			
Флогопит									
Номер образца	Номер спектра	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Сумма
78/4	70	40,202	11,291	0,876	18,56	6,257	15,088	7,726	100
78/4	71	38,639	13,434	3,51	17,075	4,007	14,372	6,62	100
78/4	72	40,464	11,147		19,872	6,369	14,839	7,308	100
78/4	74	41,463	10,634		20,071	5,921	15,44	6,472	100



**SEM-изображения, отображающие характерные формы выделения некоторых минералов**

(dol – доломит, ap – апатит, ilm – ильменит, cal – кальцит, phl – флогопит, ba – барит, zr-циркон),  
(А, Б – обр. 522077/4, В, Г – обр. 522078/4)

Изучение пород осуществлялось в РЦ «Микроскопии и микроанализа» СПбГУ на приборах Leica DM4500P и Hitachi TM3000.

Изученные образцы (номера 522077/4, 522078/4) представляют собой зеленоватую сильно-выветрелую породу без явных признаков вторичных изменений.

При изучении шлифов было установлено, что образцы карбонатитов имеют гипидиоморфнозернистую, мелко-тонкозернистую структуру и массивную текстуру.

Основную массу породы составляет тонкозернистый доломит (до 80 %), реже представленный вытянутыми зернами размером до 0,8 мм. В подчиненном положении в породе присутствуют phl, kfs, pl, ap, ba, cal. Среди акцессорных минералов выделены eg, zr, mnz. Рудные минералы представлены ильменитом и пиритом. Химический состав минералов представлен в таблице.

Флогопит встречается в виде отдельных чешуек размером от 0,2 до 1,0 мм, рассеянных в более мелкозернистой основной массе. Гидроксилapatит в породе представлен в виде отдельных незональных зерен эллипсоидальной формы размером до 0,4 мм. Полевые шпаты формируют кристаллы таблитчатой формы размером до 0,8 мм. Кальцит представлен отдельными кристаллами размером до 0,2 мм. Эгирин представлен игольчатыми зернами размером до 0,2 мм (рисунок).

В результате проделанной работы удалось установить, что по минеральному составу изученные образцы карбонатитов Западно-Бирингиндинского массива относятся к доломитовой разновидности. Минеральный состав изученных карбонатитов близок к минеральному составу пород соседнего Мальджангарского массива (по [1]).



## Литература

1. Гусев В. Е., Молчанов А. В., Хорохорина Е. И. и др. Петролого-геохимические характеристики карбонатитов Мальджангарского массива (Анабарский щит) // Региональная геология и металлогения. – 2022 – № 91. – С. 52–67.
2. Гусев Н. И., Пушкин М. Г., Круглова А. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Лист R-49 – Оленёк. Объяснительная записка. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2016. – 448 с.

### ОЦЕНКА Р-Т УСЛОВИЙ МЕТАМОРФИЗМА ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД БОРЗОВСКОГО ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РУДНОГО УЗЛА (СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ ТАЙМЫР)

Ю. В. Кисельников, А. Г. Шнейдер, В. Ф. Проскурнин

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург,  
yury.kiselnikoff@yandex.ru*

Борзовский потенциальный рудный узел расположен на п-ове Челюскин в пределах Мамонтовско-Лаптевской позднерифейской аккреционной зоны [1; 4] Центрально-Таймырской складчатой мегазоны [4]. В его пределах получили развитие метаморфизованные вулканиты верхнего рифея, перекрывающие их кварцитопесчаники и кварцевые метаконгломераты верхнего венда – среднего кембрия и залегающие выше углеродистые терригенно-карбонатные отложения кембрия–ордовика. Породы прорваны крупным батолитом гранитоидов верхней перми.

Исследование проведено в рамках ГДП-200 листов Госгеолкарты Т-47-XXVIII, XXIX, XXX; Т-48-XXV, XXVI, XXVII (Западно-Челюскинская площадь) по материалам полевых работ 2019 и 2020 гг. (сборы А. А. Багаевой, М. Ю. Курапова, А. Г. Шнейдера, Н. И. Березюка). Изучено 56 шлифов метаморфизованных вулканогенных пород, 27 силикатных анализов пород проведены в ЦАЛ Института Карпинского, 29 силикатных анализов пород со стратотипа борзовской толщи заимствованы из объяснительной записки к Геолкарте [6]. Для 10 проб пород основного состава и 8 среднекислого состава получены содержания микроэлементов в ЦАЛ «Института Карпинского». Микронзондовые исследования минералов проведены в РЦ СПбГУ «Центр микроскопии и микроанализа» (аналитик Н. С. Власенко) и в ЦАЛ Института Карпинского (аналитик Е. Л. Грузова), в общей сложности обработано около 400 энергодисперсионных спектров. Статистическая обработка данных проводилась в программе STATISTICA, нормативные составы пород рассчитаны по методике CIPW в программном пакете GCDkit.

На рассматриваемом участке размещены рудопроявления золотосульфидно-кварцевой жильной формации с содержаниями золота: верховья р. Продольная – 0,1–0,9 г/т [3], достигая 2,1 г/т; р. Каменка – 0,5–8,1 г/т; руч. Крутой – 0,3 г/т. Для последующего определения характера связи эпигенетической минерализации с вмещающими породами проведено предварительное изучение химического состава и минералогии метаморфизованных пород.

Большую часть площади участка покрывают метаморфизованные вулканиты. Относятся данные породы к борзовской толще верхнего рифея, по составу подразделяются на туфоконгломераты, туфы основного, среднего и кислого составов, андезибазальты, дациты, риолиты. В каньоне р. Борзова А. А. Макарьевым описан стратотипический разрез толщи. Установлено, что составляют ее пачки мощностью 1–2, 5–7, до 15–20 м контрастного состава. В общем объеме разреза кислые породы несколько преобладают над основными [6].

Изученные вулканиты формируют две петрографические группы: порфиroidы и амфиболиты. Порфиroidы в образце светло-серые сланцеватые, порфиroidвидные, обладают гранобластовой мелокзернистой структурой с элементами реликтовой порфиroidовой структуры, состоят главным образом из кварца, олигоклаза, мусковита. В качестве примеси иногда встречаются минералы группы эпидота и биотит.

Амфиболиты представляют собой темно-зеленые сланцеватые либо массивные породы, мелкозернистые, с гранонематобластовой структурой. В состав их входят плагиоклазы, минералы

группы эпидота, амфиболы. В подчиненном количестве встречаются кварц, хлорит, титанит, ильменит, иногда – биотит.

По систематике TAS [13] амфиболиты могут быть соотнесены с базальтами, андезибазальтами, а порфиroidы в свою очередь – с андезитами, дацитами, риолитами. По классификации Де Ля Роша [8], амфиболиты являются базальтами, толеитами, латибазальтами, андезибазальтами, частично – андезитами; порфиroidы же соответствуют дацитам, кварцевым латитам, риолитам и риодацитам. На диаграмме Дженсена [10] амфиболиты занимают поля высоко-Mg-толеитовых базальтов, высоко-Fe-толеитовых базальтов, базальтов и, частично, андезитов. Порфиroidы располагаются в границах составов андезитов, дацитов и риолитов. На данной диаграмме породы формируют отчетливый толеитовый тренд, в то время в координатах AFM [9] закономерный тренд не обнаруживается.

Породы основного состава являются кварц-нормативными и гиперстен-нормативными толеитовыми базальтами.

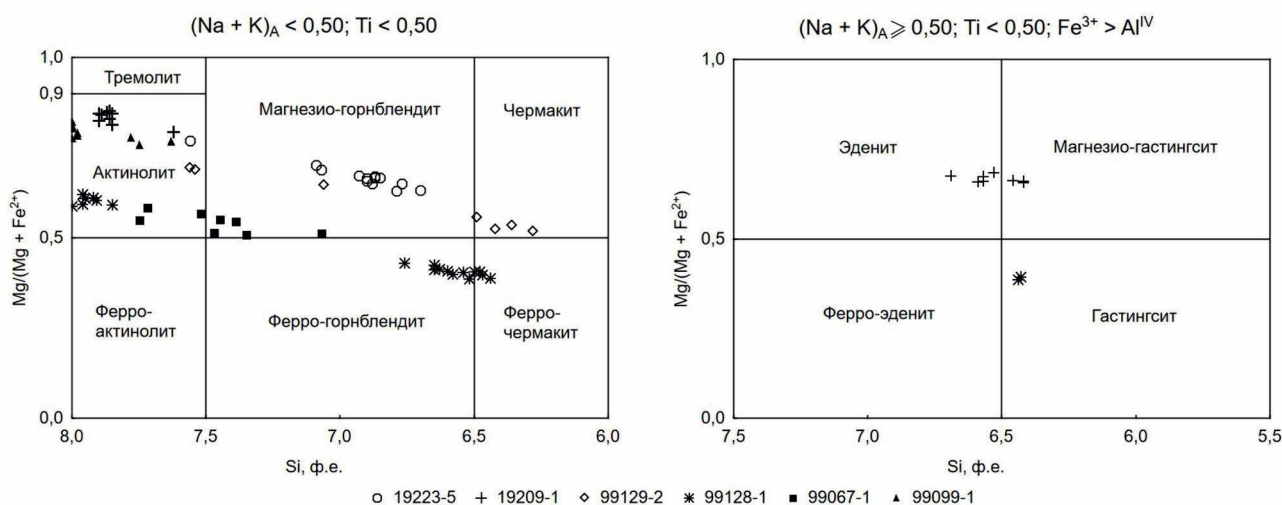
Спектры распределения микроэлементов в амфиболитах (значения нормированы на N-MORB по [12]) имеют сходство со спектрами E-MORB. Общей особенностью изученных пород является присутствие значительных отрицательных аномалий Nb и Ti (характерны для магматических пород зон субдукции) и положительных аномалий Pb и Sr (связаны, видимо, с метаморфизмом и высокой подвижностью данных элементов в метаморфических флюидах).

Обогащенность редкоземельными элементами невысокая: наибольшие содержания достигают 95 г/т, наименьшие составляют 20 г/т; в среднем же около 60 г/т (нормированы на хондрит по [12]). Фракционирование легких лантаноидов относительно тяжелых имеет различную степень: отношение  $La_n/Yb_n$  изменяется от 1,36 до 5,54. Отрицательная европиевая аномалия выражена, и ее расчет дает значения от 0,98 до 0,78.

Образцы пород 19194-1 и 49168-1 могут быть определены как высоко-Al базальты (по [7]), поскольку содержат  $Al_2O_3$  более 17 вес. %, MgO менее 6 вес. % и в отношении совместимых элементов являются обедненными. Наибольшее содержание среди данных образцов: Cr 119 г/т, Ni 25 г/т.

Образец 70006-2, по всей видимости, представляет собой пикробазальт (по [7]). Он обладает микроэлементным спектром, наиболее близким к N-MORB, он наиболее обеднен редкоземельными элементами, а содержание совместимых элементов достигает: Cr 417 г/т и Ni 361 г/т. Такие особенности указывают на относительно повышенные степени частичного плавления перидотита в мантийном клине при формировании расплава.

Главные минералы амфиболитов обладают выраженным зональным строением. Внутренние части кристаллов плагиоклазов по химическому составу соответствуют олигоклазу,

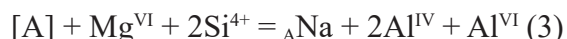
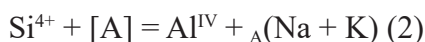


Классификационная диаграмма для кальциевых и натриево-кальциевых амфиболов [11] с нанесенными составами амфиболов метаботитов борзовской толщи

внешние – андезину. Крупные (до 5 мм) идиоморфные кристаллы амфиболов характеризуются неравномерным распределением окраски в шлифах с бледными и бесцветными ядрами и насыщенно-зелеными периферийными зонами. От внутренних к периферийным зонам амфиболов происходит замещение, преимущественно по чермакитовой схеме изоморфизма:



Меньше распространены схемы эденитового (2) и гастингситового замещения (3):



Внутренние части кристаллов амфиболов по химическому составу отвечают актинолиту, а внешние – магнезио-горнблендиту, феррогорнблендиту, чермакиту, феррочермакиту, эдениту и гастингститу (рисунок).

Для оценки пиковых условий метаморфизма использован мономинеральный геотермобарометр Геря [2]. Условием его применимости является присутствие плагиоклаза и кварца в ассоциации с амфиболом. В версии геотермобарометра, модифицированной Зенком и Шульцом, учитывается вхождение  $\text{Fe}^{3+}$  в состав амфиболов, а рассчитанные значения давления оказываются, как правило, выше [14]. Вариации составов амфиболов в краевых зонах и полученные по ним оценки Р-Т условий приведены в таблице.

Получены близкие значения температуры и давления метаморфизма. Для проб 19233-5 и 19209-1 отмечается превышение расчетного давления по версии геотермобарометра Зенка и Шульца; для пробы 99128-1 значения давления практически совпадают, а для пробы 99129-2 давление по геотермобарометру Зенка и Шульца оказалось несколько заниженным.

**Формульные количества катионов в краевых частях кристаллов амфиболов и расчетные оценки физико-химических условий их образования**

Образец*	19233-5 (6)	19209-1 (6)	99128-1 (6)	99129-2 (4)
Si	6,82 ± 0,08	6,50 ± 0,07	6,56 ± 0,10	6,39 ± 0,09
Al <sup>IV</sup>	1,18 ± 0,08	1,51 ± 0,07	1,44 ± 0,10	1,61 ± 0,09
Al <sup>VI</sup>	0,73 ± 0,14	0,67 ± 0,04	0,98 ± 0,04	1,06 ± 0,06
Ti	0,05 ± 0,04	0,05 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Fe <sup>3+</sup>	0,39 ± 0,20	0,73 ± 0,08	0,41 ± 0,07	0,50 ± 0,05
Fe <sup>2+</sup>	0,97 ± 0,15	0,57 ± 0,07	1,92 ± 0,06	1,24 ± 0,07
Mg	2,86 ± 0,15	2,98 ± 0,07	1,66 ± 0,09	2,17 ± 0,10
<sub>B</sub> Fe <sup>2+</sup>	0,19 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,11 ± 0,03	0,16 ± 0,02
<sub>B</sub> Mn <sup>2+</sup>	0,04 ± 0,00	0,03 ± 0,00	0,06 ± 0,01	0,03 ± 0,02
<sub>B</sub> Ca	1,77 ± 0,02	1,79 ± 0,02	1,84 ± 0,02	1,81 ± 0,02
<sub>B</sub> Na	0,01 ± 0,01	–	–	–
<sub>A</sub> Na	0,35 ± 0,04	0,59 ± 0,04	0,39 ± 0,02	0,40 ± 0,01
<sub>A</sub> K	–	0,02 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,06 ± 0,01
Al <sup>total</sup>	1,92 ± 0,17	2,17 ± 0,07	2,42 ± 0,14	2,67 ± 0,15
Fe <sup>3+</sup> /Fe <sup>total</sup>	0,28 ± 0,14	0,56 ± 0,06	0,17 ± 0,03	0,29 ± 0,03
Mg <sup>#</sup>	0,65 ± 0,05	0,67 ± 0,01	0,40 ± 0,02	0,54 ± 0,02
T <sup>PТ-A-1</sup> , °C	573 ± 11	617 ± 9	601 ± 11	623 ± 10
T <sup>PТ-A-2</sup> , °C	561 ± 11	616 ± 10	600 ± 14	622 ± 11
P <sup>PТ-A-1</sup> , кбар	4,5 ± 0,6	4,8 ± 0,1	5,5 ± 0,3	6,1 ± 0,3
P <sup>PТ-A-2</sup> , кбар	6,2 ± 0,7	6,6 ± 0,2	5,1 ± 0,1	4,9 ± 0,2

\* Справа от номера пробы (в скобках) указано число использованных анализов амфиболов. Надстрочный индекс РТ-А-1 – геотермобарометр Геря [2], индекс РТ-А-2 – геотермобарометр Зенка и Шульца [14], Т – оценка температуры, Р – оценка давления.

Температуры метаморфизма укладываются в промежуток 560–620 °С, давления – 5–6 кбар. При нормальном значении геобарического градиента 0,33 кбар/км глубина, на которой происходили метаморфические преобразования, составляла 15–20 км. Согласно классификации фаций регионального метаморфизма [5], данные результаты указывают на протекание метаморфизма в условиях эпидот-амфиболитовой фации.

### Литература

1. *Верниковский В. А.* Геодинамическая эволюция Таймырской складчатой области. – Новосибирск : Изд-во СО РАН; НИЦ ОИГГМ, 1996. – 202 с.
2. *Геря Т. В.* P-T тренды и модель формирования гранулитовых комплексов докембрия: Докт. дисс. – МГУ, 2002.
3. *Забияка А. И.* и др. Золотоносность, геолого-структурные особенности и прогнозная оценка перспективных зон сульфидизации Северо-Восточного Таймыра. Красноярск, 1983. Фонды Красноярского филиала ФБУ «ТФГИ по СФО», отдел в Норильске, № 931.
4. *Проскурнин В. Ф.* Минерагенический анализ Таймыро-Североземельского региона и оценка его золотоносного потенциала // Автореф. докт. дисс. – СПб., 2013. – 40 с.
5. *Маракушев А. А.* Петрология метаморфических горных пород. – М. : Изд-во МГУ, 1973. – 321 с.
6. *Марковский В. А.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Таймырская. Листы Т-47-XXVIII, XXIX, XXX (р. Марга), Т-48-XIX, XX, XXI (п-ов Челюскин), Т-48-XXII, XXIII, XXIV (о-в Самуила), Т-48-XXV, XXVI, XXII (плато Лодочникова), Т-48- Т- XXVIII, XXIX, XXX (залив Симса). Объяснительная записка / Ред. Н. С. Малич. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургской картографической фабрики ВСЕГЕИ, 2000. – 186 с.
7. *Best M. G.* Igneous and Metamorphic Petrology // Blackwell Publishing. – 2003.
8. *De La Roche H., Leterrier J., Grandcaude P.* et al. Classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2 diagram and major element analyses – its relationships with current nomenclature // Chemical Geology. – 1980. – Vol. 29. – P. 183–210.
9. *Irvine T. N., Baragar W. R. A.* A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks // Canadian Journal of Earth Sciences. – 1971. – Vol. 8. – P. 523–548.
10. *Jensen L. S.* A new cation plot for classifying subcalic volcanic rocks // Ontario Div. Mines. Misc. pap. – 1976. – 66 p.
11. *Leake B., Wooley A., Arps C.* et al. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Mineral and Mineral Names // American Mineralogist. – 1997. – Vol. 82. – P. 1019–1037.
12. *McDonough W. F., Sun S.-S.* The composition of the Earth // Chemical geology. – 1995. – Vol. 120. – P. 223–253.
13. *Middlemost E. A. K.* Naming materials in the magma/igneous rock system // Earth Science Review. – 1994. – Vol. 37. – P. 215–224.
14. *Zenk M., Schulz B.* Zoned ca-amphiboles and related P-T evolution in metabasites from the classical Barrovian metamorphic zones in Scotland // Mineralogical magazine. – 2004. – Vol. 68. – P. 769–786.

# ЭКСПЕРТИЗА ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ПРОВЕДЕНИЕ РАБОТ ПО РЕГИОНАЛЬНОМУ ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ИЗУЧЕНИЮ НЕДР

И. Н. Королева

*Поволжский территориальный отдел ФГКУ «Росгеолэкспертиза», Казань, kazan@rgexp.ru*

Экспертиза проектов геологического изучения недр проводится в соответствии со статьей 23.6 Закона Российской Федерации «О недрах».

Требования к составу и содержанию проектной документации на осуществление регионального геологического изучения недр, геологического изучения недр, включая поиски и оценку месторождений полезных ископаемых, разведки месторождений полезных ископаемых, определяются правилами подготовки проектной документации на проведение геологического изучения недр и разведки месторождений полезных ископаемых по видам полезных ископаемых, устанавливаемыми федеральным органом управления – Государственным фондом недр (Приказ Минприроды России № 352 от 14.06.2016 «Об утверждении Правил подготовки проектной документации на проведение геологического изучения недр и разведки месторождений полезных ископаемых по видам полезных ископаемых (в ред. Приказа Минприроды РФ от 29.05.2018 № 226, в ред. Приказа Минприроды РФ от 30.03.2021 № 216).

Порядок проведения экспертизы проектной документации на осуществление регионального геологического изучения недр, геологического изучения недр, включая поиски и оценку месторождений полезных ископаемых, разведки месторождений полезных ископаемых и размер платы за ее проведение устанавливаются Правительством Российской Федерации (Постановление Правительства РФ № 674 от 16.04.2022 «Об утверждении Правил проведения экспертизы проектной документации на осуществление регионального геологического изучения недр, геологического изучения недр, включая поиски и оценку месторождений полезных ископаемых, разведки месторождений полезных ископаемых).

Новым порядком проведения экспертизы проектной документации на геологическое изучение недр предусматриваются две важные новеллы: цифровизация процесса экспертизы, начиная с подачи электронной заявки, и предоставление возможности на законодательном уровне выполнять заявителю доработку проектной документации по замечаниям экспертизы.

Объектом экспертизы применительно к работам по региональному геологическому изучению является проектная документация на осуществление регионального геологического изучения недр (пункт 3 Порядка, установленного постановлением Правительства РФ № 674 от 16.04.2022).

Экспертиза проектной документации включает в себя анализ и оценку:

а) соответствия представленной проектной документации Законодательству Российской Федерации о недрах, документам, предусмотренным законодательством Российской Федерации о техническом регулировании и в сфере стандартизации;

б) обоснованности принятых методики, техники, технологии и комплекса работ на объекте регионального геологического изучения недр, достаточности их видов и объемов для решения поставленных геологических задач, обеспечения рационального комплексного использования и охраны недр;

в) соответствия проектной документации государственному заданию;

г) соответствия выполненного укрупненного расчета стоимости работ по проекту государственному заданию.

Заявка на проведение экспертизы проектной документации представляется государственными учреждениями, находящимися в ведении Роснедр и осуществляющие государственное геологическое изучение недр на основании государственного задания.

Заявка с приложением документов подается:

– в электронном виде с использованием портала «Личный кабинет недропользователя» (ЛКН);  
– посредством федеральной государственной информационной системы «Единый портал государственных и муниципальных услуг (функций)»;

– на бумажном носителе лично либо почтовым отправлением. В этом случае подведомственным учреждением представляется 1 бумажный экземпляр.

Заявка должна содержать следующие сведения:

– сведения о заявителе: полное наименование юридического лица, организационно-правовая форма, основной государственный регистрационный номер, идентификационный номер налогоплательщика, адрес электронной почты (для направления уведомлений, предусмотренных пунктами 21 и 25 Порядка, и заключения экспертизы проектной документации);

– наименование представляемой на экспертизу проектной документации;

– реквизиты государственного задания, в соответствии с которым проводятся работы по проектной документации (при наличии);

– реквизиты платежного поручения, подтверждающего факт внесения платы за проведение экспертизы проектной документации, сумму внесенной платы;

– сведения об общей инвестиционной (сметной) стоимости работ по проектной документации (стоимость работ согласно государственному заданию);

– указание на необходимость получения экземпляра заключения экспертизы проектной документации на бумажном носителе (лично под подпись) (в случае, если требуется получение экземпляра заключения экспертизы проектной документации на бумажном носителе в соответствии с пунктом 32 Порядка).

Прием и регистрация заявки осуществляется в день поступления заявочных документов. На рассмотрение комплектности отводится 2 рабочих дня. Возможна приостановка экспертизы до 5 рабочих дней с выдачей уведомления о доработке заявки в случае недостаточных и ошибочных в заявке сведений и прилагаемых к ней документов.

Заявка на проведение экспертизы изменений, вносимых в проектную документацию, должна быть подана не позднее, чем за 30 рабочих дней до даты окончания срока действия проектной документации. Не допускается подача заявки на проведение экспертизы изменений в отношении проектной документации, прекратившей свое действие.

К заявке прилагается проектная документация, включающая техническое (геологическое) задание на выполнение работ, разделы согласно п. 6 Правил проектирования, укрупненный расчет стоимости работ.

Проектная документация на проведение региональных геологосъемочных работ масштаба 1 : 200 000 представляется на группу листов в пределах одного или нескольких федеральных округов в соответствии с Государственным заданием, утвержденным Федеральным агентством по недропользованию «Перечнем объектов региональных геолого-геофизических и геологосъемочных работ по геологическому изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы, финансируемых за счет субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственных заданий Роснедра», а также Техническим (Геологическим) заданием, утвержденным ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского».

Техническое (геологическое) задание на выполнение работ составляется и утверждается подведомственным учреждением, согласуется Роснедра.

Для проведения экспертизы создается экспертная группа. Максимальный срок экспертизы проектной документации составляет 29 рабочих дней – общий срок при необходимости доработки проектной документации исполнителем. При наличии ошибок технического характера, по методике работ осуществляется приостановка экспертизы до 20 рабочих дней с выдачей уведомления по доработке проектной документации с рабочими замечаниями экспертной комиссии.

Экспертиза изменений (дополнений), вносимых в проектную документацию, осуществляется в порядке, предусмотренном для проведения экспертизы проектной документации.

Результаты экспертизы проектной документации приводятся в экспертном заключении, которое подписывается усиленными квалифицированными электронными подписями всех членов экспертной группы. Заключение экспертизы проектной документации составляется

и оформляется в электронном виде и в течение 2 рабочих дней высылается на официальную электронную почту подведомственного учреждения.

Не рассматривая в данном докладе методические вопросы проведения работ, хотелось бы отметить наиболее распространенные замечания экспертов по оформлению и содержанию проектной документации и разделов:

- часто наименование разделов проектной документации не соответствует п. 6 Правил проектирования;

- не приводятся географические координаты угловых точек номенклатурных листов в системе ГСК-2011 (нарушение требований Постановления Правительства РФ от 24.11.2016 № 1240);

- в разделе «Общие сведения об объекте геологического изучения» отсутствуют наименование объекта работ, реквизиты документов, являющихся основанием проведения работ по объекту в целом и проведения работ исполнителями по листам; не указывается местонахождение листа на территории Российской Федерации, проиллюстрированное рисунками либо графическими приложениями;

- предусмотренные проектом перечень и наименования видов (методов) работ в разделе «Методика проведения геологоразведочных работ» не всегда полностью соответствует наименованиям видов работ, указанным в техническом (геологическом) задании; отсутствует достаточное обоснование распределения видов и объемов проектируемых работ, выполняемых собственными силами ФГБУ «Институт Карпинского» и исполнителями (подрядными организациями);

- в разделе «Мероприятия по охране окружающей среды» не приводятся сведения о наличии на площади работ особоохраняемых природных территорий, санитарно-защитных зон и перечень мероприятий по ограничению или особому порядку проведения работ;

- перечень, наименования и объемы работ в «Сводном перечне проектируемых работ» часто не соответствуют видам работ, указанным в техническом (геологическом) задании и в тексте проекта; объем работ должен быть указан в физических единицах (км, точка, проба, отчет и т. д.);

- нередко разделы сопровождаются мелкими, практически не читаемыми рисунками, со схемами и картами без указания их масштаба, не в полной мере иллюстрирующими условия проведения работ;

- несоответствие нумерации графических приложений оглавлению, в штампах графических приложений не указывается наименование укрупненного объекта, приложением к которому они являются, наименование основного исполнителя государственной работы по объекту – ФГБУ «Институт Карпинского», а также ФИО ответственного исполнителя по объекту государственного задания, отсутствуют должности и подписи составителей.

За период времени с 2021 по 2024 г. экспертиза проектов регионального геологического изучения недр, составленных ФГБУ «Институт Карпинского», осуществлялась силами 8 территориальных отделов ФГКУ «Росгеолэкспертиза»: Северо-Западным (г. Санкт-Петербург), Поволжским (г. Казань), Южным (г. Ростов-на-Дону), Уральским (г. Екатеринбург), Сибирским (г. Новосибирск), Красноярским (г. Красноярск), Якутским (г. Якутск) и Дальневосточным (г. Владивосток) отделами. Было представлено порядка 44 проектов и дополнений к ним. Выданы положительные экспертные заключения.

# ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ МЕТОДАМИ ТРЕКОВОЙ ГЕОТЕРМОХРОНОЛОГИИ: БАЗА ДАННЫХ ТРЕКОВЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ «RUFT»

Д. А. Кревсун<sup>1,2</sup>, Р. В. Веселовский<sup>1,2</sup>, Т. Э. Багдасарян<sup>1,2</sup>, А. В. Чистякова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup>Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, [dasha@krevsun.ru](mailto:dasha@krevsun.ru)

Методы определения возраста минералов по следам осколков спонтанного деления ядер урана, к которым относятся трековое датирование апатита (Apatite Fission-Track, AFT), циркона (Zircon Fission-Track, ZFT) и титанита (Titanite Fission-Track, TFT), давно вышли за рамки собственно геохронологии и в последние десятилетия активно используются как геотермохронологический инструмент для решения широкого спектра фундаментальных и прикладных задач современной геологии. Самые последние сведения о перечисленных методах и их приложениях в науках о Земле можно найти в публикациях [4, 5].

К 2024 г. в мире насчитывается порядка десятка тысяч опубликованных трековых определений, однако, как справедливо отмечено в работе [1], активное развитие и внедрение в геологическую практику методов трекового анализа в мировом научном сообществе пришлось на время коренных изменений в России в 1990-е годы. Это обстоятельство определило крайне ограниченное применение трековых методов в нашей стране: трековые лаборатории в России до сих пор единичны, а до недавнего времени практически весь объем относительно немногочисленных исследований геологических объектов в пределах России методами трекового анализа выполнялся за рубежом. Отметим, что некоторая часть результатов исследований наших соотечественников опубликована в русскоязычных изданиях и по сути недоступна мировой научной общественности.

В последние годы методы трекового анализа в нашей стране стали активно развиваться: открываются лаборатории и создаются коллективы, в которых реализован полный цикл трекового анализа, а молодые ученые изучают новые объекты в самых разных регионах страны. Тем не менее, изученность территорий РФ методами трекового анализа остается крайне неравномерной, а говоря точнее – фрагментарной. В этой связи оперативный доступ к опубликованным результатам играет важную роль для постановки задач и планирования термохронологических исследований в России. В докладе мы представим для обсуждения базу данных результатов исследований методами трекового анализа территории Российской Федерации, которую мы назвали «RUFT» (от слов “RUssia” и “Fission-Track”) и главная цель которой заключается в сборе, накоплении, визуализации и интерактивном анализе имеющихся трековых определений. Подобные базы данных имеются, например, для территорий Австралии [6] и США [3]: они позволяют быстро и наглядно проанализировать имеющиеся трековые данные для определенной территории или объекта, получить ссылки на первоисточники. Аналогичный функционал реализован и в разрабатываемой нами базе данных «RUFT».

Фактическую основу базы данных RUFT составляет файл формата MS Excel, структура которого предоставляет пользователю исчерпывающую информацию о конкретном результате трекового анализа. Сортировка и фильтрация данных производится встроенными средствами MS Excel. Визуализация и интерактивная работа с трековыми определениями выполняется посредством портала (приложения) Google Maps и/или свободно распространяемой ГИС QGIS. В ходе доклада нами впервые будет представлена полноценная версия базы данных «RUFT», содержащая тщательно проверенную информацию по максимально доступному авторам количеству публикаций.

Поддержка и развитие базы данных трековых определений «RUFT» выполняется силами сотрудников лаборатории Трекового анализа и изотопной геохронологии ИФЗ РАН (Москва) при поддержке РНФ (грант 24-77-00040).



## Литература

1. Соловьев А. В. Изучение тектонических процессов в областях конвергенции литосферных плит: методы трекового и структурного анализа // Труды Геологического института. – 2008. – 319 с.
2. Boone S. C., Kohlmann F., Noble W. et al. A geospatial platform for the tectonic interpretation of low-temperature thermochronology // Big Data. Sci Rep. – 2023. – Vol. 13. – 8581 p.
3. Hillenbrand I. W., Thomson K. D., Morgan L. E. et al. USGS Geochron: A Database of Geochronological and Thermochronological Dates and Data (ver. 2.0, September 2023) // U.S. Geological Survey data release. – 2023.
4. Kohn B. P., Ketchum R. A., Vermeesch P. et al. Interpreting and reporting fission-track chronological data // Geological Society of America Bulletin. – 2024.
5. Malusà M. G., Fitzgerald P. G. Fission-Track Thermochronology and its Application to Geology, Springer Textbooks in Earth Sciences, Geography and Environment // Springer International Publishing, Cham. – 2019.
6. Geochronology and Isotopes Data Portal – URL: <https://portal.ga.gov.au/persona/geochronology> (дата обращения: 01.11.2024).

## НОВЫЕ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ И ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ ПО ЧУКОТСКОМУ СЕГМЕНТУ ОЧВП (В ПРЕДЕЛАХ ОКРЕСТНОСТЕЙ ЗАЛИВА КРЕСТА, ЧУКОТСКИЙ АО)

И. Е. Лебедев<sup>1,2</sup>, А. М. Пасенко<sup>1,2</sup>

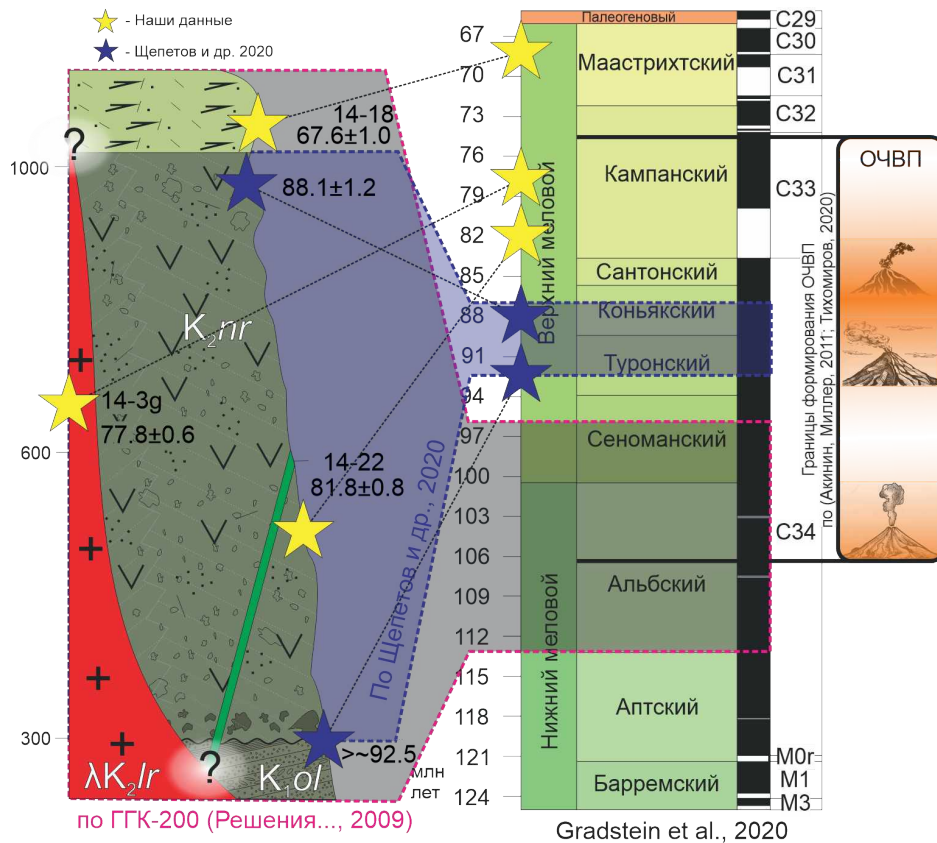
<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), Москва

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, [lebedev232@ya.ru](mailto:lebedev232@ya.ru)

Охотско-Чукотский вулканоплутонический пояс (ОЧВП) – одна из крупнейших окраинно-континентальных вулканических провинций, существовавших в истории Земли. Данная геоструктура, при сравнительно небольшой ширине в первые сотни км, протягивается на более чем 3000 км от Преджугджурья до Берингова пролива и маркирует древнюю границу Евразии и Палеоокеана. Особый интерес привлекает и тот факт, что на всем его протяжении присутствуют крупные месторождения, главным образом золота и серебра.

Однако до сих пор не существует консенсуса на счет возрастных рамок формирования этой обширной вулканической провинции. Ранее господствовала парадигма о формировании ОЧВП на всем своем протяжении сравнительно одновременно, но накопление базы данных современных прецизионных изотопно-геохронологических данных позволило более точно ограничить возраст начала и конца вулканизма и выделить наиболее интенсивные его этапы (напр. [1; 6]). Продолжение накопления изотопных данных, по так называемым фланговым сегментам ОЧВП (по В. Ф. Белому [2]), также поставили под сомнение модель о формировании ОЧВП сравнительно одновременно на всем протяжении [3–5; 7]. Эти данные указывали на более позднее завершение формирования ОЧВП на его Восточной оконечности, что предлагалось объяснять продольной миграцией вулканизма либо наложенным, ранее не известным, более поздним магматическим событием. Для восточной части ОЧВП современные геохронологические ограничения опубликованы лишь для верхних стратонов, тогда как для нижних частей разреза ощущается их явный недостаток. В данной работе мы пытаемся заполнить этот пробел и представляем результаты изотопного датирования циркона из самых нижних стратонов ОЧВП, обнаженных в районе залива Креста, а также соседствующего с ними крупного гранитного Искатеньского массива.

В работе представлены результаты изотопно-геохронологического датирования циркона из трех образцов. Образцы отражают основные этапы формирования окрестностей зал. Креста: 1) Нырвакинотскую свиту – так называемые «нижние андезиты» представляющие основание ОЧВП; 2) Амгеньскую свиту – несогласно перекрывающие их кислые вулканы; и 3) Искатеньский гранитный массив, который прорывает все изученные стратоны в данной области (согласно ГК-200/1 (Благодатский и др.) и /2 (Романов и др)). Из соответствующих свит и гранитного массива были отобраны коллекции для палеомагнитных исследований. Образцы вулканических пород отбирались в скальных обнажениях, выходящих непосредственно над пос. Эгвекинот, а гранитный Искатеньский массив на его пересечении с дорогой Эгвекинот–Иультин.



**Схематическое положение изученных образцов в разрезе зал. Креста и их соотношение с международной геохронологической шкалой по [9]**

Пробоподготовка, съемка зерен в оптическом микроскопе и катодоллюминесцентных лучах производилась в лаборатории Трекового анализа и изотопной геохронологии ИФЗ РАН, г. Москва. Измерения изотопных отношений производились в лаборатории ИЗК СО РАН, г. Иркутск с использованием квадрупольного масспектрометра с индуктивно-связанной плазмой (Agilent 7900) и приставкой лазерной абляции (Teledyne Analyte Excite). Все палеомагнитные исследования производились в лаборатории Главного геомагнитного поля Земли и петромагнетизма ИФЗ РАН, г. Москва.

Имеющиеся представления об альб-сеноманском возрасте пород залива Креста (рисунок), отраженные на всех геологических картах, базируются главным образом на данных палеофлористики, закреплены в [10]. Имеющиеся единичные современные изотопные данные, полученные силами В. В. Акинина и П. Л. Тихомирова и обсуждаемые в работе известного палеоботаника С. В. Щепетова [8], указывают на более молодой возраст формирования нижней нырвакинской свиты. Представленные в данной работе новые изотопные данные оказались еще моложе, что позволяет сделать следующие выводы.

Возраст нырвакинской вулканитов, на сравнительно небольшом расстоянии (20 км), варьирует от 92 до 82 млн лет, что может указывать на удивительно долгое/дискретное их формирование либо на некорректность объединения исследованных пород в один стратон. Так или иначе, «Нижние андезиты» флангового Восточно-Чукотского сегмента ОЧВП (нырвакинотская свита) формировались на (как минимум) 10–20 млн лет позже аркоклинали (основной цепи) ОЧВП.

«Существенно кислые вулканиты», залегающие непосредственно на «нижних андезитах» зал. Креста, имеют возраст 68 млн лет. Подобные возрасты для ОЧВП известны только для «Верхних базальтов» в окрестностях месторождения Валунистое (~100 км к западу, тоже ВЧСО) [5; 7].

Данные геохронологические результаты подтверждаются результатами палеомагнитных исследований. Во всех изученных свитах обнаружены значительные зоны обратной полярности, которые практически исключены во время Мелового суперхрона прямой полярности,

господствовавшего с апта по сантон (напр. [9]). Наиболее адекватным объяснением подобного является формирование данных пород в постсантонское время.

Эти результаты поддерживают гипотезу о не единовременном формировании ОЧВП на всем своем протяжении [3–5; 7] или наложении более молодого (Анадырско-Бристольского?) магматического события, ареал которого теперь может быть расширен до зал. Креста.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-17-00112.

### Литература

1. Акинин В. В., Миллер Э. Л. Эволюция известково-щелочных магм Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – 2011. – № 3 (19). – С. 249–290.
2. Белый В. Ф. Стратиграфия и структуры охотско-чукотского вулканогенного пояса. – М.: Наука, 1977. – 171 с.
3. Полин В. Ф. Проблема возраста Охотско-Чукотского вулканогенного пояса в свете данных о разновременности формирования его звеньев. – 2023. – № 4. – С. 5–19.
4. Полин В. Ф. и др. Первые данные U/Pb- и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования Преджугджурских вулканитов – новое свидетельство разновременности формирования отдельных звеньев Охотско-Чукотского вулканогенного пояса // Докл. РАН. Науки о Земле. – 2021. – № 2 (497). – С. 107–115.
5. Сахно В. Г. и др. Разновременность формирования Амгуэмо-Канчаланского и Энмываамского вулканических полей ОЧВП по данным изотопного датирования. – 2010. – № 3 (434). – С. 365–371.
6. Тихомиров П. Л. Меловой окраинно-континентальный магматизм Северо-востока Азии и вопросы генезиса крупнейших фанерозойских провинций кремнекислого вулканизма. – М.: ГЕОС, 2020. – 376 с.
7. Тихомиров П. Л. и др. «Верхние базальты» Восточно-Чукотского сегмента Охотско-Чукотского пояса: продольная миграция вулканической активности или наложение позднего магматического события? // Докл. РАН. Науки о Земле. – 2021. – № 2 (501). – С. 167–172.
8. Щенетов С. В. и др. О возрасте буор-кемюсской флоры северо-востока Азии на основе материала из неморского мела Восточной Чукотки // Стратиграфия. – 2020. – № 4 (28). – С. 125–141.
9. Gradstein F. M. et al. The geologic time scale 2020. – Amsterdam: Elsevier, 2020.
10. Решения 3-го Межведомственного регионального стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и мезозою Северо-востока России (Санкт-Петербург, 2002). – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – 268 с.

## К ВОПРОСУ ОБ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ ОЛИВИН-ШПИНЕЛЕВОЙ АССОЦИАЦИИ В МАНТИЙНЫХ КСЕНОЛИТАХ ИЗ БАЗАЛЬТОИДОВ ОСТРОВА ЖОХОВА (НОВОСИБИРСКИЕ ОСТРОВА)

Л. П. Никитина<sup>1</sup>, Н. И. Пономарева<sup>2</sup>, В. Н. Бочаров<sup>2</sup>, Н. С. Власенко<sup>2</sup>,  
В. Ф. Проскурнин<sup>3</sup>, А. Н. Сироткин<sup>4</sup>, Н. М. Столбов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и геохронологии докембрия Российской Академии наук, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург

<sup>4</sup>ФБГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И. С. Грамберга», Санкт-Петербург

Остров Жохова входит в состав группы островов Де-Лонга арх. Новосибирские острова (северо-восточная часть Северного Ледовитого океана). Среди образований коры преобладают верхненеоген-четвертичные вулканиты (оливиновые и щелочные базальты, лимбургиты), содержащие ксенолиты мантийных шпинелевых лерцолитов [4].

**Методы исследования.** Минералы, слагающие ксенолиты шпинелевых лерцолитов, исследовались с помощью поляризационного микроскопа Leica DM4500 P, снабженного цифровой камерой Leica DFC 495, и электронного сканирующего микроскопа Hitachi S-3400N, оснащенного энергодисперсионным спектрометром Oxford X-max 20. Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток 1,5 нА).

Детальное изучение оливина и микроанализ минеральных включений выполнены на сканирующем электронном микроскопе Hitachi TM 3000 с приставкой для энергодисперсионного микроанализа OXFORD в режиме низкого вакуума, что позволяло использовать непроводящие образцы без предварительного напыления.

Состав флюидных включений в минералах изучался на рамановском спектрометре Horiba LabRam HR800. Регистрация спектров комбинационного рассеяния выполнена в спектральном диапазоне 4000–100 см<sup>-1</sup>. Источником возбуждения служил твердотельный лазер с длиной волны 532 нм. Мощность лазера – до 100 мВт, время экспозиции от 2 до 10 сек., число повторений – от 2 до 15, увеличение микроскопа – 100<sup>x</sup>. Калибровка прибора осуществлялась по Si-эталону (520,7 см<sup>-1</sup>). Использовалась дифракционная решетка 1800 ш/мм, диаметр конфокального отверстия – 300 мкм.

Результаты исследований. Шпинелевые лерцолиты сложены оливином, клинопироксеном, ортопироксеном и шпинелью [4]. Их состав ранее приводился [1].

В оливине содержание форстеритового компонента варьирует в пределах 90,1–90,6 %. При микроскопическом исследовании в зернах оливина и в межзерновом пространстве породы наблюдались многочисленные черные мелкие хорошо ограненные кристаллики шпинели, размером ≤ 0,1 мм, а также Fe-Ni сульфидов.

Хромистость шпинели (Cr#) определена как Cr/(Cr + Al) и варьирует от 0,68 до 0,78. Магнезиальность ее (Mg#), равная Mg/(Mg + Fe), соответствует 0,42–0,51.

В оливине, помимо твердофазных включений, установлены многочисленные газово-твердые включения размером ≤ 20 мкм, содержащие CO<sub>2</sub> и композицию газов CO<sub>2</sub> + CO, аналогичную установленной для перидотитового ксенолита штата Невада, США [7]. Идентификация включений проводилась согласно данным, приведенным в работе [9].

Температуры образования минеральной ассоциации оливин-шпинель были вычислены по уравнениям:

– по [13]:  $[(3480X_{Cr}^{Sp} + 1018X_{Al}^{Sp} + 2400 - 1720X_{Fe^{3+}}^{Sp}) / (2,23X_{Cr}^{Sp} + 2,56 * X_{Al}^{Sp} + 1,987 \ln K_D^o - 3,08X_{Fe^{3+}}^{Sp} - 1,47)] + \kappa X_{Ti^{3+}}$ . T, K = 1001, K;

– по [8]:  $[(4250 * X_{Cr}^{Sp} + 1343) / (\ln K_D^o + 1,825 X_{Cr}^{Sp} + 0,571)] + \kappa X_{Ti^{3+}}$ ; T, K = 1009, K;

– по [6]: T, K =  $[6530 + 280P + 7000 + 108P] * (1 - 2X_{Fe}^{Ol}) - 1960 * (X_{Mg}^{Sp} - X_{Fe^{2+}}^{Sp}) + 16150 X_{Cr}^{Sp} + 25150 * (X_{Fe^{3+}}^{Sp} + X_{Ti}^{Sp}) / 8,3144 \ln K_D^{Ol-sp} + 4,705$ ; T, K = 1016, K, где  $K_D^{Ol-sp} = (X_{Mg}^{Ol} * X_{Fe}^{Sp}) / (X_{Fe}^{Ol} * X_{Mg}^{Sp})$ ;  $X_{Mg(Fe)}^{Ol}$ ,  $X_{Mg(Fe^{2+})}^{Sp}$  – отношения R<sup>2+</sup>/(Fe<sup>2+</sup> + Mg) в оливине и шпинели;  $X_{Fe^{3+}}^{Sp}$ ,  $X_{Al}^{Sp}$ ,  $X_{Cr}^{Sp}$  – катионные доли R<sup>3+</sup>/(Fe<sup>3+</sup> + Al + Cr),  $X_{Ti}^{Sp}$  – число катионов Ti в шпинели.

Расчет количества Fe<sup>3+</sup> производился по формуле: Fe<sup>3+</sup> = 2 – Al – Cr – 2Ti [3].

Величина отклонения фугитивности кислорода от значения lg(*f*<sub>O<sub>2</sub></sub>) для буферной реакции оценивалась нами по оксибарометру [1; 6]:  $\Delta \lg(f_{O_2}) = 0,27 + 2505/T - 400P/T - 61g X_{Fe}^{Ol} - 3200 * (1 - X_{Fe}^{Ol})^2 / T + 21g X_{Fe^{2+}}^{Sp} + 41g X_{Fe^{3+}}^{Sp} + 2630(X_{Al}^{Sp})^2 / T$ . Она соответствует 0,95 лог. ед.

Фугитивности кислорода (lg *f*<sub>O<sub>2</sub></sub>) буферных реакций FMQ (фаялит-магнетит-кварцевой), NNO (никель-оксид никеля) и CCO (углерод-оксид углерода-двуокись углерода) были рассчитаны по уравнениям [6; 10; 12]. Для оливин-шпинелевой ассоциации lg *f*<sub>O<sub>2</sub></sub> определялась из уравнения, отражающего отклонение окислительно-восстановительного состояния от состояния, соответствующего буфера QFM, CCO, NNO:  $\Delta \lg f_{O_2} = \lg f_{O_2} - \lg f_{O_2}^{QFM(NNO, CCO)}$ .

Температура сосуществования оливин-шпинелевой ассоциации, рассчитанная для P = 1 GPa по разным геотермометрам, принята равной 1010 K (757 °C). Фугитивность кислорода (lg *f*<sub>O<sub>2</sub></sub>) для буферных реакций рассчитывалась для тех же P-T параметров: P = 1 GPa, T = 1010 K (757 °C). Для FMQ [12] lg *f*<sub>O<sub>2</sub></sub> = –14,8. Для буферной реакции NNO [12] lg *f*<sub>O<sub>2</sub></sub> = –14,8. Для буферной реакции CCO [10]: lg *f*<sub>O<sub>2</sub></sub> = –14,8. Величина Δlg *f*<sub>O<sub>2</sub></sub>, рассчитанная для лерцолитов о. Жохова, равна 0,95 лог. ед. Исходя из вышеприведенного уравнения, lg *f*<sub>O<sub>2</sub></sub> лежит в интервале: (–13,9) – (–14,6), что совпадает с данными в работе [3], который показал, что для оливин-шпинелевой ассоциации из этих пород значение lg *f*<sub>O<sub>2</sub></sub> соответствует буферу CCO с участием свободного углерода. И, по его мнению, такие восстановительные условия характерны для формирования перидотитов сублитосферной мантии (в том числе графит- и алмазсодержащих). Полученные параметры по редокс-состоянию для оливин-шпинелевой ассоциации из лерцолитов о. Жохова близки к величинам lg *f*<sub>O<sub>2</sub></sub> в ультрамафитах Платиноносного пояса

Урала, в частности в дунитах Косьвинского тела, а также в гарцбургитах островных дуг (гора Торисима преддужья Идзу-Бонин, вулкан Мэгата, Япония) [5].

Таким образом, изучение минералогических особенностей парагенетической ассоциации шпинели и оливина, определение летучести кислорода на основе их состава может способствовать выявлению потенциальной рудоносности магматических пород.

Исследования выполнены при поддержке гранта СПбГУ № 116234388.

### Литература

1. Никитина Л. П., Марин Ю. Б., Сироткин А. Н. и др. Петрография и минералогия мантийных ксенолитов в кайнозойских щелочных базальтах о. Жохова (арх. Новосибирские острова): процессы плавления и метасоматоза в мантии // Материалы Годичного собрания РМО. – 2023. – С. 48–50.
2. Никитина Л. П. Межфазовые геотермометры, геобарометры и геооксбарометры. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2005. – 126 с.
3. Округин А. В. Хромит-ферри-ульвошпинелевая серия минералов щелочных пикрит-базитовых пород Севера Сибирской платформы и их окситермобарометрия // Записки РМО. – 2023. – Т. 152, № 6. – С. 80–94.
4. Силантьев С. А., Богдановский О. Г., Савостин Л. А. и др. Магматизм архипелага Де-Лонга (Восточная Арктика); петрология и петрохимия эффузивных пород и ассоциирующихся с ними ксенолитов (острова Жохова и Вилькицкого) // Геохимия. – 1991. – № 2. – С. 267–277.
5. Чащухин И. С., Вотяков С. Л., Пушкарев Е. В. и др. Окситермобарометрия ультрамафитов платиноносного пояса Урала // Геохимия. – 2002. – № 8. – С. 846–863.
6. Ballhaus C., Berry R., Green D. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implication for the oxidation state of the upper mantle // Contrib. Miner. Petrol. – 1991. – Vol. 107, no. 1. – P. 27–40.
7. Bergman S. C., Dubessy J. CO<sub>2</sub>-CO fluid inclusions in a composite peridotite xenolith: implications for upper mantle oxygen fugacity // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1984. – Pp. 1–13.
8. Fabries J. Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes // Contribs Mineral, and Petrol. – 1979. – Vol. 69. – P. 329–336.
9. Frezzotti M. L., Tecce F., Casagli A. Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis // In Journal of Geochemical Exploration. – 2012. – Pp. 1–20.
10. Jakobsson S., Oskarsson N. The system C-O in equilibrium with graphite at high pressure and temperature: An experimental study // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1994. – Vol. 58. – P. 9–17.
11. O'Neill H. St. C. The quartz-fayalite-iron and quartz-fayalite-magnetite equilibria and the free energies of formation of fayalite (Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>) and magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) // Amer. Miner. – 1987(a). – Vol. 72. – P. 67–75.
12. O'Neill H. St. C., Wall V. J. The olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer, the nickel precipitation curve, and the oxygen fugacity of the Earth's upper mantle // J. Petrol. – 1987(b). – Vol. 28. – P. 1169–1191.
13. Roeder P., Campbell I., Jamieson H. A reevaluation of the olivine-spinel geothermometer // Contribs Mineral, and Petrol. – 1979. – Vol. 68. – P. 325–334.

## К ВОПРОСУ О ПРОТЕРОЗОЙСКО-ВЕНДСКИХ БАЗИТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ АНАБАРСКОГО ЩИТА

А. Д. Савельев

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, Aleksandr\_Saveliev@karpinskyinstitute.ru*

Базитовый магматизм широко развит в пределах Анабарского щита и его осадочного обрамления. Однако труднодоступность территории, ее слабая обнаженность и изученность позволяли лишь в общих чертах оценить характер его проявлений: в объяснительных записках к геологическим картам 1970–1980-х годов фигурировали только нерасчлененные протерозойско-триасовые интрузии [3].

В начале 1990-х на основе простираций тел, К-Аг датировок и химического состава долеритов, базитовые дайки Анабарского щита были разделены А. В. Округиным [11] на несколько крупных роев. Эти исследования стали основой для последующего выделения комплексов в Анабарской серийной легенде, что в дальнейшем нашло отражение и в современных объяснительных записках к Государственным геологическим картам [1; 2]. Согласно им, дайковые

комплексы выделяются в соответствии с петрографическими и геохимическими особенностями, а также K-Ar и Sm-Nd возрастами, причем простираение дайковых роев в качестве ключевого критерия не используется. Исходя из этих критериев, в пределах Анабарского щита и его обрамления были выделены следующие крупные протерозойско-вендские базитовые комплексы: кендейский (1700 млн лет), кенгединский (1500 млн лет), токурский (1380 млн лет), будьурхайский (1250 млн лет), котуйканский (1100 млн лет), чиэресский (950 млн лет) и котуйский (550 млн лет) [1; 2].

Однако высокоточное U-Pb датирование по бадделеиту, в основном финансируемое в рамках LIPs-Industry Project, подтвердило только три основных протерозойских роя даек (рисунок), представляющие следующие КИПы (крупные изверженные провинции): дайки ССЗ простираения Тимптонской КИП с возрастом около 1770 млн лет (1775–1750 млн лет) [8; 9], дайки (и силлы) субширотного простираения Куонамской КИП с возрастом около 1500 млн лет [4–7; 12] и дайки северо-западного простираения чиэресского роя с возрастом около 1385 млн лет [7].

Полученные U-Pb датировки для Оревунского силла указывают на то, что в среднем течении р. Котуй западного склона Анабарского массива обнажаются тела с возрастом около 1500 млн лет, что не только существенно сокращает объем известных проявлений вендского магматизма (котуйский комплекс), но и в целом ставит вопрос о его существовании [12]. При определении возраста петротипической дайки чиэресского комплекса был получен раннерифейский возраст (ок. 1385 млн лет, [7]), а для петротипических даек будьурхайского и токурского комплексов возраст составил примерно 1500 млн лет [4]. Для даек и силлов котуйканского комплекса нет достоверных определений возраста, а результаты палеомагнитных и геохронологических исследований в районе р. Фомич говорят о том, что и эти породы относятся к Куонамской КИП с возрастом 1500 млн лет [6].

Таким образом, верифицированными можно считать только три магматических комплекса, которые можно соотнести с уже известными КИПами или роями даек: кендейский (Тимптонская КИП), кенгединский (Куонамская КИП) и токурский (чиэресский рой). Это говорит о необходимости пересмотра анабарской серийной легенды, а также изменения подхода к выделению отдельных комплексов.

Для выработки наиболее эффективных критериев определения принадлежности базитовых интрузий были проанализированы новые геологические, геохронологические, геохимические и геофизические данные по текущим объектам Геологического института им. А. П. Карпинского, а также ряд ретроспективных материалов.

Наиболее достоверный результат для определения возраста дайковых комплексов дает U-Pb датирование по бадделеиту, однако это довольно дорогостоящий анализ, и его применение должно быть обосновано другими критериями. K-Ar и Sm-Nd системы неустойчивы, поэтому могут применяться лишь для примерной оценки возраста.

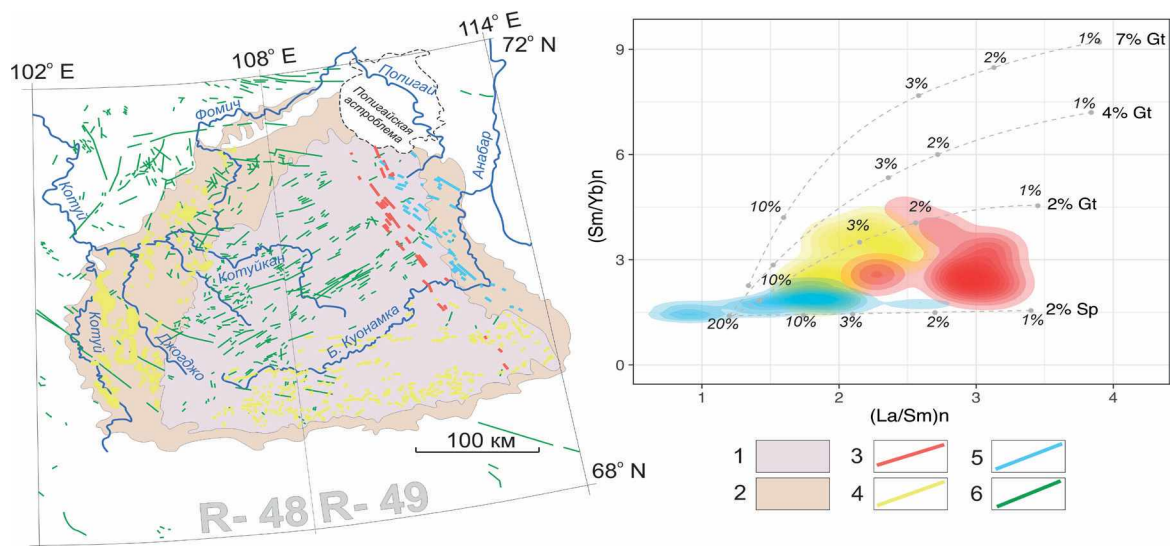
Определение геологической позиции и простираения тел является одним из самых простых и эффективных методов при расчленении интрузивных образований. По имеющимся геологическим и геофизическим данным можно дать следующие характеристики комплексам.

1. Кендейский комплекс занимает узкую полосу север–северо-западного простираения на востоке Анабарского щита и встречается только в пределах кристаллического фундамента.

2. Кенгединский комплекс занимает широкие субширотные полосы в южной части Анабарского щита, на западе образует трапповые поля, прорывает как породы фундамента, так и рифейские отложения, но не пересекает вендские толщи.

3. Токурский комплекс распространен в восточной части Анабарского щита, имеет северо-западное простираение, прорывает как породы фундамента, так и рифейские отложения, но не пересекает вендские толщи.

Также были отмечены еще два направления простираений: запад–северо-западное и северо-восточное. Первое из них скорее всего связано с мезозойским магматизмом: дайковые тела прорывают палеозойский осадочный разрез. Другие подобные комплексы, которые бы достоверно пересекали вендские отложения, пока не выявлены. Второе простираение характерно



**Геологическая схема Анабарского щита с выделенными роями даек (по данным из [4–9; 11; 12]) и диаграмма (Sm/Yb)<sub>n</sub> - (La/Sm)<sub>n</sub> [10].**

1 – AR–PR породы кристаллического фундамента, 2 – PR породы осадочного чехла, 3 – кендейский комплекс (Тимптонская КИП, 1770 млн. лет), 4 – кенгединский комплекс (Куонамская КИП, 1500 млн. лет), 5 – токурский комплекс (чиэресский рой, 1380 млн. лет), 6 – нерасчленённые дайковые комплексы.

для центральной части Анабарского щита. Центральнo-Анабарский дайковый рой изучен довольно слабо, но по ряду признаков, K-Ar датировкам [11] и аналогиям с интрузивными комплексами в пределах других кратонов можно предположить, что возраст его формирования составляет примерно 1840–1850 млн лет.

Породы кендейского комплекса имеют высокие содержания SiO<sub>2</sub> (>54 %), образуя на диаграмме TAS группу в полях андезибазальтов и трахиандезитов. Кенгединский и токурский комплексы образуют группу в полях базальтов и трахибазальтов, причем кенгединские дайки более щелочные. На AFM диаграмме все образцы долеритов попали в поле толеитовых базальтов.

Графики распределения РЗЭ демонстрируют обогащение легкими редкоземельными элементами (LREE) по сравнению с тяжелыми редкоземельными элементами (HREE) у всех комплексов, но у кендейского комплекса оно проявлено сильнее. Кенгединские и токурские тренды близки друг к другу и трудноразличимы.

Наиболее существенные различия между комплексами показаны на диаграмме (Sm/Yb)<sub>n</sub> – (La/Sm)<sub>n</sub>. Плоский профиль отношения HREE (Sm/Yb)<sub>n</sub> (рисунок) характерен для образцов токурского комплекса и соответствует плавлению при относительно низких давлениях в пределах поля стабильности шпинели (на глубине <75 км). Кенгединские долериты должны содержать значительное количество граната в своем источнике, чтобы иметь такое высокое соотношение Sm/Yb. Их положение на диаграмме предполагает глубокую (>80 км) зону плавления источника. Образцы кендейского комплекса расположены в переходной зоне между кенгединской и токурской группами, но имеют наименьшую степень плавления. Стоит отметить что, как и на графиках распределения РЗЭ, установление границы между токурской и кенгединской группами точек проблематично.

Таким образом, в результате исследования были выявлены следующие наиболее надежные критерии для расчленения протерозойских базитовых комплексов восточной части Анабарского щита:

- наличие U-Pb датировок по бадделеиту;
- направления простираний тел и их геологическая позиция;
- содержания SiO<sub>2</sub> (для кендейского комплекса);
- положение на диаграмме (Sm/Yb)<sub>n</sub> – (La/Sm)<sub>n</sub>.

Отметим, что полученные результаты носят предварительный характер и требуют дополнительного подтверждения новыми изотопными датировками и более детального изучения геохимических особенностей комплексов.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Федерального агентства по недропользованию от 27.12.2023 № 049-00003-24-00.

### Литература

1. Гусев Н. И., Пушкин М. Г., Круглова А. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Лист R-49 – Оленёк. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. – 448 с.
2. Липенков Г. В., Мащак М. С., Кириченко В. Т. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Анабаро-Вилюйская. Лист R-48 – Хатанга. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. – 2015. – 398 с.
3. Марков Ф. Г. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Объяснительная записка. Лист R-48 – (50) – Оленёк, 1984. – 83 с.
4. Томишин М. Д., Эрнст Р. Е., Седерлунд У. и др. Кенгединский мафический дайковый рой и расширение Куонамской крупной изверженной провинции (1500 млн лет) Северной Сибири // Геодинамика и тектонофизика. – 2023 – Т. 14, № 4.
5. Ernst R. E., Hamilton M. A., Söderlund U. et al. Long-lived connection between southern Siberia and northern Laurentia in the Proterozoic // Nat. Geosci. – 2016. – Vol. 9. – P. 464–469.
6. Ernst R.E., Okrugin A. V., Veselovskiy R. V. et al. The 1501 Ma Kuonamka Large Igneous Province of northern Siberia: U-Pb geochronology, geochemistry, and links with coeval magmatism on other crustal blocks // Russian Geology and Geophysics. – 2016. – Vol. 57. – P. 653–671.
7. Ernst R. E., Buchan K. L., Hamilton M. A. et al. Integrated paleomagnetism and U-Pb geochronology of mafic dikes of the Eastern Anabar shield region, Siberia: implications for Mesoproterozoic paleolatitude of Siberia and comparison with Laurentia // J. Geology. – 2000. – Vol. 108. – P. 381–401.
8. Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Pisarevsky S. A. et al. 1.79–1.75 Ga mafic magmatism of the Siberian craton and late Paleoproterozoic paleogeography // Precambrian Research. – 2022. – Vol. 370.
9. Gladkochub D. P., Pisarevsky S. A., Donskaya T. V., et al. Proterozoic mafic magmatism in Siberian craton: an overview and implications for paleocontinental reconstruction // Precambrian Research. – 2010. – Vol. 183. – P. 660–668.
10. Jourdan F., Bertrand H., Schärer U. et al. Major and trace element and Sr, Nd, Hf, and Pb isotope compositions of the Karoo large igneous province, Botswana–Zimbabwe: Lithosphere vs Mantle Plume Contribution. // J. Petrol. – 2007. – Vol. 48. – P. 1043–1077.
11. Okrugin A. V., Oleinikov B. V., Savvinov V. T. et al. Late Precambrian dike swarms of the Anabar Massif, Siberian Platform, USSR / (Eds.) A. J. Parker, P. C. Rickwood, D. H. Tucker // Mafic Dikes and Emplacement Mechanisms. – Balkema ; Rotterdam, 1990. – P. 529–533.
12. Pasenka A. M., Malyshev S. V., Pazukhina A. A. et al. Age, Composition, and Paleomagnetism of Dolerite–Gabbro Dolerite Intrusions of the Western Slope of the Anabar Massif: The Issue of Vendian Magmatism in the Region // Dokl. Earth Sc. – 2024. – Vol. 514. – P. 228–233.

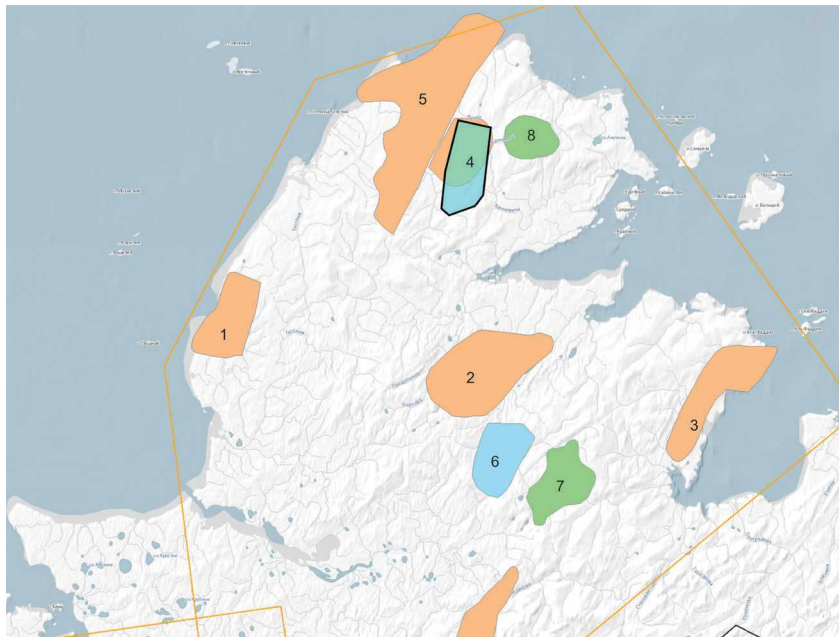
## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КУНАР-СЕРЕБРЯНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО УЗЛА ПОЛУОСТРОВА ЧЕЛЮСКИН (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

В. Д. Шалимов

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва,  
shalimov911@mail.ru

П-ов Челюскин в геологическом плане до сих пор считается слабоизученной территорией нашей страны. На данный момент изучением «Центрального сектора Арктики России» занимается отдел региональной геологии и полезных ископаемых Севера Сибири. В рамках геологосъемочных и поисково-оценочных полевых работ 2023 г. проводилось доизучение территории, составление второго поколения геологических карт и уточнение закономерностей размещения полезных ископаемых листов Т-47-XXVIII, XXIX, XXX; Т-48-XIX, XX, XXI; Т-48-XXV, XXVI, XXVII. Одной из полевых задач было уточнение границ Кунар-Серебрянского золоторудного узла. Границы участка показаны рис. 1.





**Рис. 1. Карта рудно-россыпных узлов в пределах Центрально-Челюскинского россыпного района**

Паландерский (1), Борзовский (2), Песцовский (3), Кунар-Серебрянский (4), Серебряно-Челюскинский (5), Широкинский (6), Трехсестерский (7), Кристифенский (8) (Цифровой двойник недр России, 2024). Контуром показан изучаемый участок

В 2022 г. на Кунар-Серебрянском узле проводилась литогеохимическая съемка и определение перспективных участков. В 2023 г. проводилась поисково-геологическая съемка в южной части участка.

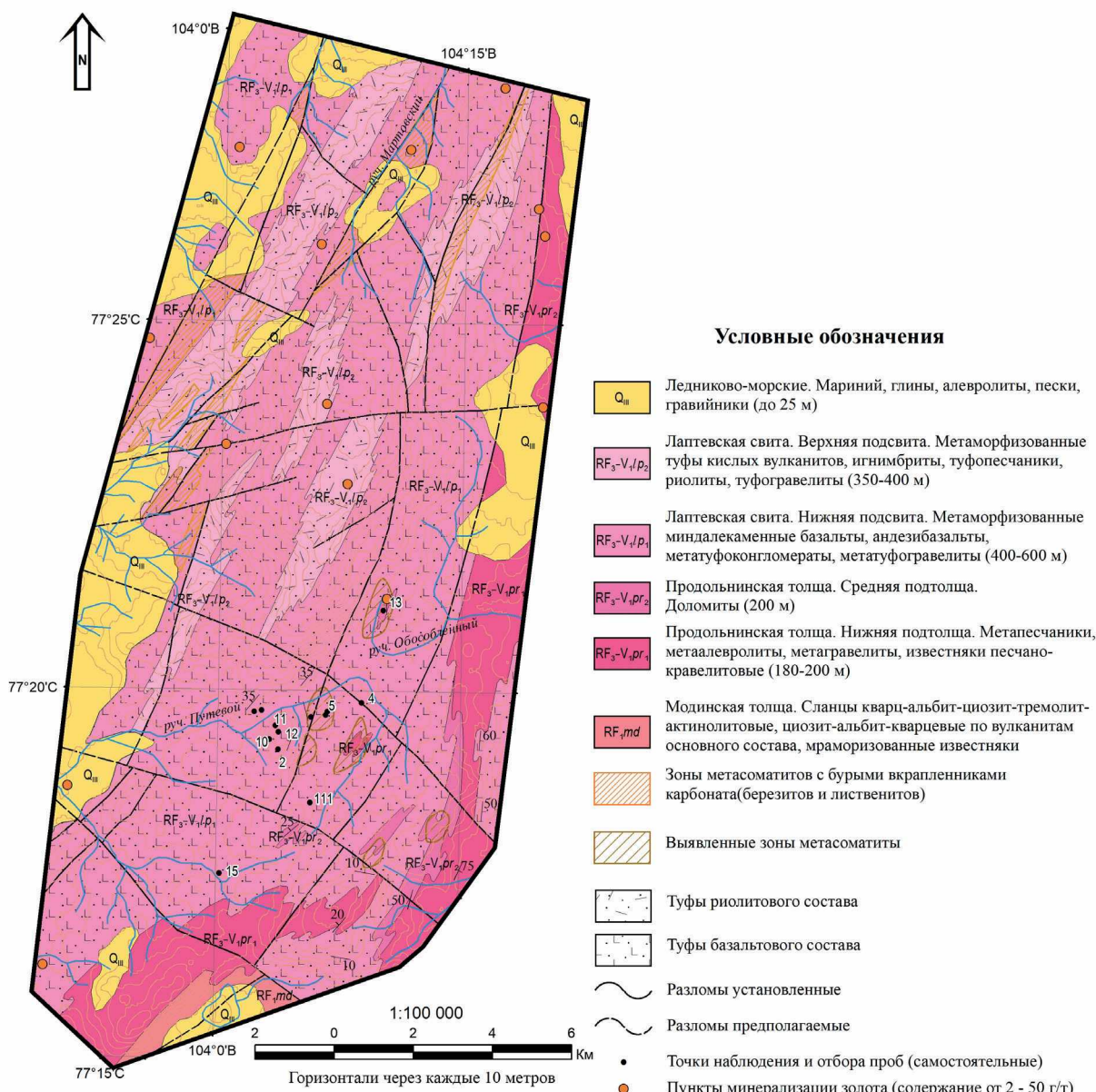
По данным литогеохимии, содержания меди и золота превышают фоновые значения в 4–7 раз, ванадия в 2 раза, титана в 4–8 раз.

По результатам полевых работ 2022–2023 гг., на основе ГК-200/1 Т-47,48 [9], 2000), ГК-1000/3 Т-45–47 [8], геохимических карт 2022 г. и паспорта объекта № 6900006 [10] была построена Сводная геологическая карта Кунар-Серебрянского золоторудного узла. На карту вынесен фактический материал полевых работ, уточнено геологическое строение южной части узла, актуализирован возраст геологических подразделений (рис. 2).

Кунар-Серебрянский узел расположен в центральной зоне Таймырско-Североземельской складчатой системы [3; 7]. В геологическом строении изучаемого участка принимают участие метаморфизованные породы позднерифейско-ранневендского вулканогенно-осадочного комплекса и неоген-четвертичные отложения. Позднерифейско-ранневендский комплекс представлен гравелито-песчанико-алевролитно-карбонатной формацией (продольнинская толща  $RF_3-V_{1pr}$ ), образовавшейся в результате трансгрессии мелководного моря в обстановке прибрежно-континентального мелководья, а также породами дифференцированной вулканической серии, формировавшейся в субаэральных условиях (лаптевская свита  $RF_3-V_{1lp}$ ) [8,9].

В раннелаптевское время возникли вулканические постройки трещинного типа и произошло излияние субщелочных лав, а в позднелаптевское время сформировались стратовулканы центрального типа. Завершение вулканической деятельности сопровождалось складчатостью, орогенезом и интрузивным магматизмом [8; 9]. По гравиметрическим данным в пределах южного участка выявлена отрицательная гравитационная аномалия, интерпретируемая как гранитный или гранитоидный массив.

На Кунар-Серебрянской площади выделяются три системы нарушений: северо-восточного, северо-западного и согласного простираения с породами лаптевской под 5–15° к породам, падая на северо-запад.



**Рис. 2. Геологическая карта Кунар-Серебрянского золоторудного узла (сводная)**

Участок характеризуется зонами повышенных гидротермально-метасоматических изменений, предположительно связанных с пересечением трещин второго и третьего типов. Гранитный массив, интерпретируемый по данным гравиразведки, мог быть источником флюида. Вдоль нарушений северо-восточного простирания распространены мощные и протяженные кварцево-жильные зоны с сульфидной минерализацией. Метавулканиты отличаются пониженной гамма-активностью и намагниченностью, что указывает на их глубокое гидротермально-метасоматическое преобразование. На участке присутствуют метасоматиты пропилит-лиственит-березитового типов и кварцевые жилы с вкраплениями пирита, халькопирита и галенита. Концентрация золота в метасоматитах составляет от 0,1 до 1,0 г/т, в жилах до 5,9 г/т [4–6; 8].

В пределах выделенного в южной части метасоматиты ранее не были оконтурены. Ожидается уточнение их границ после обработки полевых материалов отделом Северного Таймыра. По собственным материалам удалось лишь определить зоны метасоматизма и частично оценить их распространение в 5–9 км<sup>2</sup>.

Лаптевская свита широко распространена в пределах Кунар-Серебрянского узла. Она состоит из двух подсвит: нижней (основные вулканиты) и верхней (кислые вулканиты). В результате ре-

гионального метаморфизма породы превратились в зеленые сланцы, поэтому в полевых условиях сложно определить различия в составе пород.

Исследования выявили три типа потенциальной золотой минерализации в породах нижней подсвиты: вкрапленный халькопирит, халькопирит-пирит в метасоматитах и кварцевых жилах, а также магнетит-гематит.

**Первый тип.** Вкрапленный халькопиритовый тип минерализации встречен в т. н. 15 и 111. Минерализация представлена в небольшом по мощности интервале коренных пород и в секущих карбонат-кварц-альбитовых жилах, также имеются находки вторичных медистых минералов. Рудные минералы представлены халькопиритом ( $C_{cp}$ ) 0,4–0,8 мм и пирротинном (Po) до 2 мм. Минералы расположены равномерно по всему объему породы и имеют ориентировку параллельно сланцеватости. Рудные минералы формировались при гидротермальном процессе во время метаморфизма вмещающих пород.

Минерализация слабо коррелирует с геохимическими аномалиями в данных областях. Зона минерализации протягивается в северо-восточном направлении на 3–6 км и имеет площадь порядка 5–6 км<sup>2</sup>.

**Второй тип** выделен и описан в т. н. 5 и 13. Представляет собой халькопирит-пиритовую минерализацию в метасоматитах и карбонат-кварцевых жилах. Минерализация приурочена к разломам северо-восточного простирания и к сдвигам северо-западного направления. Вмещающие зеленые сланцы преобразованы в листвениты альбит-мусковит-карбонат-хлоритовые.

Минерализация локализуется во вмещающих породах (редко) и в кварцевых жилах. Жилы имеют мощность от первых сантиметров до 1 м, протяженность – до 15 м, представлены пиритом и халькопиритом. Минерализация распространена неравномерно. Содержание рудных минералов в породах и в жилах – первые проценты.

Данный тип минерализации выделен предшественниками как гидротермально-метасоматическая золотоносная формация, которая описана в северных частях изучаемого узла. Минерализация хорошо соотносится с литогеохимическими аномалиями меди и золота. Полевым индикатором зон метасоматоза, но не листвинитизации, служат бурые вкрапленники карбонатов. Оцененная площадь минерализации – 3,75 км<sup>2</sup>.

**Третий тип.** Магнетит-гематитовый тип минерализации встречен и описан в т. н. 2, 4, 10, 11, 12.

Вмещающие породы в данных точках представлены зелеными сланцами, которые состоят из серицита, хлорита, карбоната, эпидота и альбита. Их соотношение различно. Карбонат выполняет линзы и прослои, намекая на первичную пористость пород и их вулканогенно-осадочный генезис. Породы серицитизированы и эпидотизированы. Минерализация тяготеет к эпидот-хлоритовым прослоям и представлена магнетитом и гематитом, содержание – до 15 %. Кристаллы гематита в т. н. 4 имеют нехарактерные монокристаллические свойства. Мощность минерализованного прослоя – до 2 м, прослеживается по простиранию на 50 м. В т. н. 2 встречен хорошо сохранившийся магнетит 1–2 мм, мощность прослоя – до 1 м.

Ранее была установлена золотоносность магнетитовой минерализации в породах продольнической толщи у истоков р. Кунар, содержание золота – 0,1 г/т. Выделенный тип минерализации совпадает с геохимическими аномалиями золота, меди, ванадия и титана. Минерализация прерывистая и протягивается как минимум на 2–3 км. Данный тип минерализации ранее не был описан в породах нижнелаптевской подсвиты и может быть потенциально золотоносным. Также может служить геолого-поисковым признаком при дальнейших поисковых работах на данном участке.

**Выводы.** Генезис золоторудной минерализации в метавулканитах Кунар-Серебрянского узла представляется полистадийным процессом. Во время накопления вулканогенно-осадочных толщ при аккреции вулканических дуг имел место вулканогенный гидротермальный флюид. Это подтверждают малые геохимические аномалии серебра (ppm max: 0,059–0,31) и разнообразие состава лаптевской свиты, свидетельствующее об удаленности от источника

и длительности формирования толщи. Развитие складчатого пояса происходило в позднекаледонское и герцинское время, при надвиге Карского микроконтинента и формировании Северной зоны Таймырско-Североземельской складчатой системы, образовывались гранитные массивы каменноугольного, пермского и триасового времени. Вмещающие породы взаимодействовали с магматическими и постмагматическими флюидами, происходил региональный метаморфизм в зеленосланцевой стадии. В это время высокопроницаемые кислые и основные вулканиты лаптевской свиты преобразуются и накапливают в себе рудную золото-сульфидную минерализацию [1; 2], связанную с метасоматически преобразованными породами. Вокруг участка известны россыпи, это говорит о высокой продуктивности метавулканитов в целом.

### Литература

1. Авдонин В. В. и др. Месторождения металлических полезных ископаемых – М. : Трикта, 2005. – 720 с.
2. Антропов П. Я. Геология СССР. Красноярский край. – М. : Госгеолтехиздат, 1961. – 827 с.
3. Верниковский В. А. Геодинамическая эволюция Таймырской складчатой области. – Новосибирск : СО РАН ; НИЦ ОИГТМ, 1996. – 202 с.
4. Проскурнин В. Ф. Минерагенический анализ Таймыро-Североземельского региона и оценка его золотоносного потенциала. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2013. – 39 с.
5. Проскурнин В. Ф. и др. Новый тип золоторудного оруденения в аккреционной зоне докембрия Таймыра (результаты поисковых работ на Верхнеленинградской площади) // Региональная геология и металлогения. – 2015. – № 63. – С. 105–117.
6. Проскурнин В. Ф. и др. Центральнo-Арктический золотосодержащий медно-молибден-порфиновый пояс // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 85. – С. 31–49.
7. Хаин В. Е. Региональная тектоника. Внеальпийская Азия и Австралия. – М. : Недра, 1979. – 356 с.
8. Макарьев А. А. и др. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение) Таймырско-Североземельская, Северо-Карско-Баренцевоморская серии лист Т-45–48 м. Челюскин. – СПб. : Картфабрика ВСЕГЕИ, 2013.
9. Марковский В. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Таймырская. Листы Т-47-XXVIII, XXIX, XXX (р. Марга), Т-48-ХІХ, ХХ, ХХІ (п. ст. Челюскин), Т-48-ХХІІ, ХХІІІ, ХХІV (о-в Самуила), Т -48-ХХV, ХХVІ, ХХVІІ (плато Лодочникова). – СПб. : Картфабрика ВСЕГЕИ, 2000.
10. Ояберь В. К. Паспорт учета перспективного объекта № 6900006. – СПб. : ГПКК «КНИИГиМС», 2008.

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИНКОЛЛИЗИОННЫХ ГРАНИТОИДОВ МЕЛОВОГО ВОЗРАСТА НА ПРИМЕРЕ АЛЯРМАУТСКОЙ ПЛОЩАДИ, ЧУКОТКА

Н. В. Шатова<sup>1</sup>, В. Г. Куричев<sup>1,2</sup>, К. Н. Мазуркевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,

*narlin.ros@mail.ru*

Алярмаутское поднятие, на территории которого проводились работы, расположено в западной части Анюйско-Чукотской складчатой зоны, являющейся северным обрамлением Южно-Анюйской сутуры. Сухарнинский комплекс как самостоятельный комплекс впервые выделен Г. И. Соловьевым и О. А. Фурман [1; 2], назван по р. Сухарная. Петротип – наиболее крупный Правосухарнинский массив площадью порядка 600 км<sup>2</sup>.

Нами было отобрано 30 проб из Левоконеваамского, Быстринского, Спорненского, Коокунейского, Люпвеемского и Многоводного массива с целью определения возраста и анализа на спектр элементов методами масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), ПКСА и силикатного анализа.

В петрохимическом отношении породы сухарнинского комплекса относятся к умеренно-щелочному ряду, реже к щелочному и, редко, к нормальному ряду и подотряду калиевого и калиево-натриевого типов щелочности. Являются весьма высоко и, редко, крайне и высокоглиноземистыми. На диаграмме TAS (рис. 1) видно, что породы образуют два тренда, один

для щелочных и умереннощелочных разностей, а второй для нормальнощелочных разностей. Первый тренд включает в себя щелочные сиениты (на границе с фойдовыми монцосиенитами на TAS) через граносиениты и щелочные граниты к щелочным лейкогранитам. По коэффициенту глиноземистости породы этого тренда сухарнинского комплекса относятся к высоко, весьма высоко и высокоглиноземистым разностям, щелочноземельному и агпаитовому ряду и калиево-натриевому типу щелочности. Второй тренд включает в себя габбровые диориты, кварцевые диориты и гранодиориты к гранитам и лейкогранитам. По коэффициенту глиноземистости породы этого тренда сухарнинского комплекса относятся к высокоглиноземистым и, редко, весьма высокоглиноземистым породам, к калиево-натриевому типу щелочности, и по агпаитности к щелочноземельным разностям [2].

На диаграмме соотношения  $K_2O-SiO_2$  породы попадают в поле высококалийевых гранитов известково-щелочной серии. По С. Агвалу, применяя численный метод разделения позднеорогенных, посторогенных и анорогенных гранитов на основе данных по главным элементам, граниты и лейкограниты сухарнинского комплекса относятся к позднеорогенным гранитоидам. При анализе спектров распределения редкоземельных элементов наблюдается высокая степень фракционирования  $La_n/Yb_n = 15-50$ , а также высокая и нормальная сумма редких земель (153–697 г/т), в среднем повышенная, и величина европиевой аномалии в 0,1–1,6, что, по-видимому, объясняется относительно невысокой степенью проработки магматического расплава, по сравнению с породами второй фазы, и повышенной щелочностью пород, а также низким содержанием плагиоклаза в породе, что указывает на кристаллизацию пород из расплава преимущественно в верхней континентальной коре. Отличия наблюдаются в породах порфиривого облика, характерных для второй фазы комплекса.  $(La_n/Yb_n) = 2-22$ , а также пониженной, нормальной и высокой суммой редких земель (45–438 г/т) и величиной европиевой аномалии в 0,00004–0,82. Также определенные характеристики: величина европиевой аномалии для гранитов первой фазы, высокие значения отношения  $FeO/MgO$ , высокие содержания щелочей в породах второй фазы, довольно низкие содержания  $CaO$  и  $MgO$  соответствуют гранитам. Высокая глиноземистость, содержания  $Rb$  (180–270 г/т),  $Ba$  (220–530 г/т),  $Y$  (13–90 г/т, в среднем 35 г/т),  $Nb$  (6–14 г/т) соответствуют гранитам S-типа.  $Sr$  (110–480 г/т) несколько повышен,  $Rb/Sr$  (0,7–1,1) и  $Rb/Ba$  (0,11–0,39) отношения понижены для гранитоидов S-типа.

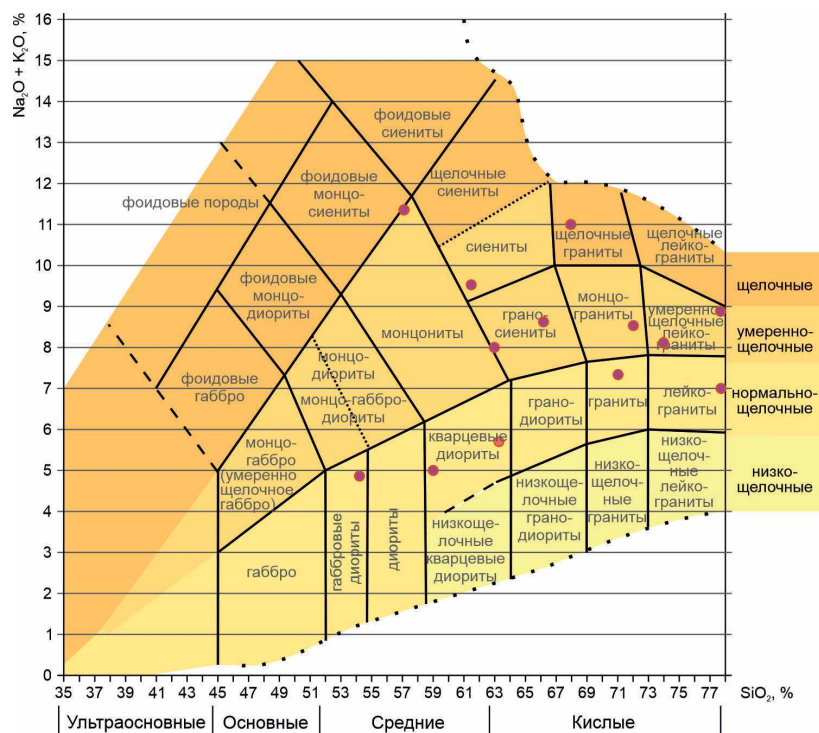


Рис. 1. Диаграмма TAS для основных составов пород сухарнинского комплекса

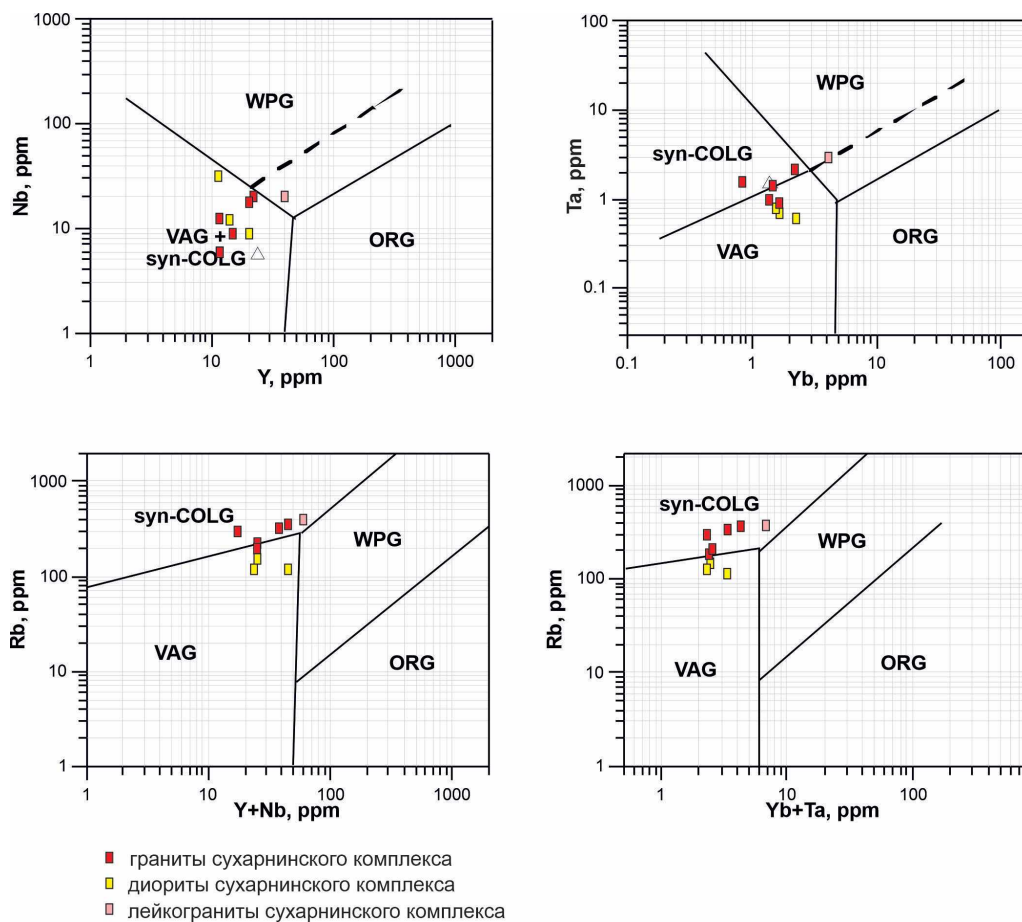


Рис. 2. Дискриминационные диаграммы (Pearce, Harris, Tindle)

На дискриминационных диаграммах, связывающих геохимические характеристики гранитоидов с геодинамической обстановкой их формирования (рис. 2) породы сухарнинского комплекса ассоциируют как с полями коллизионных, так и надсубдукционных гранитов (гранитов вулканических дуг). По-видимому, это отражает неоднородность субстрата в источнике магм, созданную за счет предшествующих куполо- и гранитообразованию коллизионных процессов [5]. Можно проследить тренд формирования от более основных пород, попадающих в область островных дуг, к более кислым разностям, попадающим в синколлизионные граниты. Все разности гранитов главной фазы попадают в область коллизионных гранитов. Интересная закономерность наблюдается для лейкогранитов, как завершающей фазы комплекса, стремящийся в поле внутриплитных гранитоидов. Стоит отдельно отметить, что по геохимической классификации Таусона [6], гранитоиды сухарнинского комплекса относятся к гранитоидам латитового ряда, которые объединяются в габбро-монцонит-сиенитовые формации.

Этот тип отличается весьма пестрым и неустойчивым составом. Он включает габбро с ортоклазом и биотитом, разнообразные монцонитовые породы, щелочные граниты и сиениты, а также породы с нормальной щелочностью (диориты, граносиениты, граниты и т. д.) [4]. Содержания лития для гранитоидов латитового (монцонитового) типа варьируется от 20 до 50 г/т, тогда как содержания в породах сухарнинского комплекса от 18 до 200, в среднем 110 г/т. То есть характеризуются повышенным литием, и пониженным содержаниям бария и 900–1400 г/т против 110–130 г/т. Содержание других элементов, таких как стронций, рубидий, молибден, олово, свинец и цинк в породах сухарнинского комплекса соответствуют монцонитоидно-латитовой серии. Таким образом, можно отметить тяготение по геохимическим параметрам граносиенитов, гранитов, и щелочных и турмалиновых лейкогранитов по отдельным характеристикам в виде пониженного содержания бария и повышенного лития, к агпайтовому ряду оловяносных гранитоидов.

Разброс в петро- и геохимических значениях и пестрота в составе петрографических групп позволяет выдвинуть предположение об одновременном формировании двух разных магматических комплексов с нормальным и умереннощелочным и щелочным рядами. Данное предположение нуждается в подтверждении дополнительными исследованиями.

### Литература

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение), серия Чукотка. Лист R-58 – Билибино. – СПб., 2023.
2. Практическая петрология, методические рекомендации по изучению магматических образований применительно к задачам Госгеолкарт / Под редакцией Л. Н. Шарпенюк. – СПб., 2017.
3. Катков С. М., Стрикленд А., Миллер Э. Л. и др. О возрасте гранитных интрузий Анюйско-Чукотской складчатой системы // Докл. РАН. – 2007. – Т. 414, № 2. – С. 219–222.
4. Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. – М. : Недра, 1964.
5. Лучицкая М. В. Гранитоидный магматизм и становление континентальной коры северного обрамления Тихого океана в мезозое–кайнозое. – М. : Геос, 2014.
6. Таусон Л. В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. – М. : Наука, 1977. – 280 с.

## КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЁРНОГО МОРЯ: НОВЫЕ ДАННЫЕ

А. А. Шейков, С. К. Шельтинг

*<sup>1</sup>Акционерное общество «Южное научно-производственное объединение по морским геологоразведочным работам» (АО «Южморгеология»), Геленджик, SheltingSK@rusgeology.ru; SheikovAA@rusgeology.ru*

Комплексные геологосъемочные работы для подготовки к изданию комплектов Государственных геологических карт масштаба 1 : 200 000 листов К-37-VIII, -IX, -X, -XV, -XVI выполнялись в глубоководной зоне северо-восточной части Чёрного моря, в пределах экономической зоны РФ. Площадь работ располагается на материковом склоне, его подножии и выходит в область абиссальной равнины в пределах Туапсинского прогиба, Адлерской депрессии, вала Шатского и Восточно-Черноморской впадины.

Около 65 % площади листов занимает абиссальная равнина с глубинами более 2050–2135 м. Материковый склон и подножие с глубинами моря от 500 до 2130 м занимают северо-восточную часть исследованного района. У восточной границы российского сектора площадь пересекает подводный каньон р. Мзымта. В северной части на площадь заходят дистальные части подводных каньонов рек. Шахе и Псезуапсе.

На площади работ выполнено сейсмостратиграфическое расчленение разреза осадочного чехла и выделена четвертичная часть разреза, выделены и закартированы сейсмостратиграфические подразделения, отвечающие главным этапам четвертичной истории региона: киммерий-акчагыльский (Iр-В); эоплейстоценовый В-Б; нижнечаудинский Б-А; верхнечаудинский А-А1; древнеэвксинский А1-А2; узунларско-ашейский А2-А3; карангатский А3-А4; сурожский (посткарангатский) А4-А5; новоэвксинский А5-А6; древнечерноморский А6-А7; новочерноморский А7-Д (дно). Выполнено прицельное опробование сейсмокомплексов на участках, где они подходят к поверхности морского дна [3]. Охарактеризован состав и генезис выделяемых сейсмостратиграфических подразделений разреза образований квартера, составлены карты четвертичных образований.

Выполнено описание системы подводных каньонов р. Мзымта. Каньоны выработаны в толще морских нефелоидных отложений чауды: в верхней части материкового склона в бортах каньонов выходят образования нижней чауды, в средней части и у подножия склона – верхней чауды [3]. Таким образом, возраст каньона отвечает эпохе формирования современного материкового склона, заложение которого датируется серединой раннего неоплейстоцена. Облик,

близкий к современному, каньон приобретает в среднем–позднем неоплейстоцене, развитие каньона продолжается [1; 2].

На дне каньонов р. Мзымта и ее притоков закартированы морские турбидиты потоковых фаций мощностью до 5 м – илы алевропелитовые сильно обводненные (текучие) с валунами, галькой, гравием, дресвой и растительными остатками. В подножии бортов каньонов, преимущественно в верхней части склона протягиваются шлейфы новоэвксинско-черноморского морского декливия обвального-оползневых фаций (до 30 м) – глины слабокарбонатные с включениями гумуса и гидротроилита.

На материковом склоне и его подножии, в рельефе подошвы чаудинских отложений прослежены погребенные субширотные и субмеридиональные речные палеодолины. Погребенная палеодолина р. Бзыбь с ее притоками прослежена в субширотном направлении и отражает ориентировку речной сети, существовавшую на площади работ до позднего плиоцена, когда мощная фаза складчатости с глубокой регрессией привели к смене структурного плана. После позднеплиоценовых оползаний произошла смена направления палеорусл на субмеридиональное, совпадающее с положением каньона Бзыби. Субширотная долина палео-Бзыби переработана эрозионными процессами, так что сохранились лишь ее фрагменты с максимальной шириной 5000 м и наибольшей глубиной до 20 м.

Контуры палеодолины р. Мзымта простираются в субмеридиональном направлении и практически повторяют современные очертания системы каньонов Мзымты. Ширина палеодолины р. Мзымта в устье около 7,5 км, в верхней части материкового склона в нее впадали два основных притока шириной 5000 м каждый. Водосборная площадь долины на участке современного материкового склона составляла более 30 км<sup>2</sup>. Глубина долины в верхней части достигала 100 м. Палеодолина Мзымты отражает субмеридиональную ориентировку речной сети, сформировавшуюся на рубеже плейстоцена.

На материковом склоне и его подножии выделены и позднеплиоценовые, эоплейстоценовые, нижнечаудинские, верхнечаудинские, древнеэвксинские, узунларско-ашейские, карангатские, сурожские и новоэвксин-черноморские подводные оползни. В разрезах ОГТ и НСАП оползням соответствуют участки полого-волнистой и «чешуйчатой» сейсмозаписи, рисунка «бегущая волна». Оползание сопровождалось сбросами; длина выявленных оползневых тел – около 35 км, средняя ширина – 17,5 км, площадь – до 612 км<sup>2</sup>.

Погребенные нижнечаудинские и верхнечаудинские оползни прослеживаются на расстоянии до 90 км, ширина достигает 28 км, площадь может достигать 1248 км<sup>2</sup>.

Длина описанных на площади листов К-37-IX, -XV погребенных древнеэвксинского, узунларско-ашейского, карангатского и сурожского оползней достигает 30 км, средняя ширина – до 8 км, площадь – до 240 км<sup>2</sup>.

Сейсмогравитационные верхнеоплейстоцен-голоценовые подводные оползни развиты в северо-восточной части листов на глубинах 1200–2090 м и занимают около 45 % площади работ. Оползневые тела этого возраста отражаются в рельефе морского дна и представляют собой чешуйчатые многоуровневые постройки, волнисто-грядовый рельеф которых отражает рельеф поверхности ступеней-олистолитов. Высота гряд составляет от 10 до 30 м, ширина – от 0,5 до 1,5 км, длина – до 7 км. В разрезе образующих оползень олистолитов сохраняется слоистая запись, рисунок которой позволяет считать, что они представляют собой крупные блоки чаудинских отложений материкового склона, перемещенные из исходного положения и перекрытые маломощным чехлом верхнеоплейстоценовых нефелоидных отложений. Датировка главной фазы развития оползней основывается на том, что зеркало скольжения оползней на материковом подножье перекрывает сурожские образования, что позволяет оценить нижнюю временную границу развития оползней.

На площади листов выделено два крупных верхнеоплейстоцен-голоценовых оползней. Гигантский оползень, язык которого начинается у подножия материкового склона к западу от устья каньона Мзымты протягивается на расстояние около 90 км, средняя ширина языка



оползня составляет около 23 км, площадь – около 1460 км<sup>2</sup>. В верхней части язык оползня проходит в направлении к ЮЮВ, на расстоянии км от подножия склона язык оползня под прямым углом сворачивает вправо и далее проходит в направлении к ВСВ, вдоль подножия материкового склона. Часть описанного гигантского оползня, отсеченная эрозионным руслом дистальной части каньона Мзымты, имеет длину около 20 км, среднюю ширину – 6,6 км, площадь – около 77 км<sup>2</sup>. Выделяющийся в северо-западном углу площади второй оползневой блок едва заходит на лист и представляет собой южное окончание оползня, язык которого начинается у подножия материкового склона к западу от русла каньона Шахе. Общая протяженность этого оползня, измеренная от основания материкового склона, составляет около 40 км (в т.ч. в границах площади работ – 17 км), средняя ширина – 18 км, площадь – около 723 км<sup>2</sup>.

На абиссальной равнине, на геоакустических материалах выявлены и закартированы две подводные эрозионные морские ложбины. Тальвеги ложбин протягиваются в СЗ направлении, параллельно береговой линии кавказского побережья. Длина первой ложбины, измеренная в границах площади работ, около 40 км, второй – около 30 км. Ширина их варьирует от 1,5 до 3,0 км, максимальная их глубина – до 7,5 м. Выработаны они в древнечерноморских образованиях.

В разрезе квартера на материковом склоне листа К-37-Х по геофизическим материалам выделены две зоны газогидратности. Признаком присутствия газогидратов является прослеживание в сейсмических и сейсмоакустических разрезах горизонта BSR, повторяющего конфигурацию поверхности морского дна и прослеженного на глубине около 255 м (0,3 с) от поверхности морского дна. Зоны газогидратности связаны с декливиальными образованиями гигантского верхнеэоценового голоценового оползня, расположенного у основания материкового склона к западу от каньона Мзымты. Нижняя граница присутствия газогидратов (BSR) проходит вблизи основания блоков – олистолитов, сложенных глинами апшерона и поздней чауды. Есть основания предполагать, что триггерным механизмом, обусловившим развитие оползня, могли стать диссоциация газогидратов и последовавшее за тем увеличение порового давления [4].

В северо-восточном углу площади работ, в зоне Адлерской депрессии, на материковом склоне обнаружен погребенный грязевой вулкан [3]. Выделен он на подводной гряде, перекрытой чехлом новоэвксинско-черноморских илов, что свидетельствует о длительном отсутствии грязевулканической активности. Форма постройки – конусовидная, а в верхней части – неправильная. Постройка венчается погребенным кратером, заполненным, предположительно, жидкой грязевулканической брекчией. По периферии кратера выделяются плохо выраженные малые конусовидные постройки.

*Работы выполнялись в рамках контрактов с ФГБУ «Институт Карпинского» № 15-3/2, 15-3/16-1, 15-3/19-1 и 15-3/22-2.*

## Литература

1. Андреев В. М. Четвертичные отложения восточной части Российского сектора Черного моря // Тез. докладов XII Международной школы морской геологии. Т. I. – М., 1997. – С. 6.
2. Андреев В. М., Забелина В. В., Хахалев Е. М. и др. Новые данные о палеогеографии восточной части Черного моря в четвертичную эпоху // Тез. докладов XVI Международной школы морской геологии. Т. I. – М., 2005. – С. 154–155.
3. Шейков А. А., Серебряков А. А., Натарова Е. В. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 200 000. Серия Кавказская. Листы К-37-Х – Подводный каньон Мзымты, К-37-ХVI – Абиссаль 16. Издание второе. – М. : МФ ВСЕГЕИ, 2022.
4. Grantz A., Eittreim S. L., Whitney O. J. Geology and physiography of the continental margin north of Alaska and implication for the origin of the Canada Basin / Eds. A. S. Nairn, M. T. Chamber, F. A. Stehli // The ocean basins and margins. Plenum Publishing Corp. – 1981. – P. 439–492.

# ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МОРСКОЙ ЧАСТИ ЛИСТОВ L-36-XXXV, L-36-XXXVI И K-36-VI ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

С. К. Шельтинг, А. А. Шейков

*АО «Южморгеология», Геленджик,  
SheltingSK@rusgeology.ru; SheikovAA@rusgeology.ru*

В состав полевых работ по геологической съемке шельфа, на прикрымском участке Черноморского бассейна – морская часть листов L-36-XXXV и L-36-XXXVI входили следующие: сейсмическое профилирование высокого разрешения (ОГТ ВР), сейсмоакустическое профилирование (НСАП), геоакустическое профилирование и пробоотбор.

В разрезе поймы погребенной речной долины, прослеженной к югу от мыса Ай-Тодор, описана констративная аллювиальная толща, включающая шесть наложенных сеймостратиграфических комплексов.

Каждый комплекс включает косослоистые сейсмофации прирусловых валов, сформировавшихся в эпохи черноморских регрессий, и сейсмофации заполнения палеорусел, формирование которых происходило в периоды черноморских трансгрессий (табл. 1). Описанная последовательность может рассматриваться как опорный сеймостратиграфический разрез неоплейстоцена Южнокрымской подзоны шельфа [3].

Стратиграфическое расчленение толщи квартера в глубоководной акватории Чёрного моря основывается на выделении и корреляции опорных отражающих горизонтов в подошве эоплейстоцена, неоплейстоцена и в подошве глубоководных конусов выноса [1; 2].

Материалы ОГТ ВР, полученные на листах L-36-XXXV, -XXXVI, обеспечили сеймостратиграфическое расчленение конуса выноса Дона [3]. Выделены сеймокомплексы (СК), отвечающие стратиграфическим надгоризонтам (климаторитмам) неоплейстоцена (табл. 2). От конуса в глубоководной котловине прослежены опорные сеймогоризонты А, А1–А4 (табл. 2). На основании сопоставления с разрезами ОГТ, опорные горизонты были прокоррелированы в разрезах НСАП, выходящих к скважине глубоководного бурения 379 (DSDP). На основе сейсмофациального анализа разрезов НСАП выделены сеймоподкомплексы (СПК), соответствующие климатическим полуритмам неоплейстоцена. Выделенные СПК сопоставлены с разрезом скв. 379 DSDP.

Таблица 1

**Сеймостратиграфические подразделения неоплейстоцена  
Южнокрымской подзоны шельфа Чёрного моря**

<i>Шельф Крыма (подгоризонт)</i>	<i>Индекс</i>	<i>Трансгрессивно-регрессивные события неоплейстоцена Понта (Русской равнины)</i>
<i>Черноморский</i>	<i><sup>a</sup>a, amIII<sub>ne</sub>-H</i>	<i>Новоэвксин-черноморская трансгрессия</i>
<i>Ай-Тодор 1</i>	<i><sup>a</sup>aIII<sub>ne</sub></i>	<i>Новоэвксинский регрессивный басс. (Поздневалдайское олед.)</i>
<i>Сурожский</i>	<i><sup>a</sup>a, amIII<sub>2,3</sub></i>	<i>Сурожский бассейн</i>
<i>Ай-Тодор 2</i>	<i><sup>a</sup>aIII<sub>2</sub></i>	<i>Послекарангатская регрессия (Ранневалдайское олед.?)</i>
<i>Карангатский</i>	<i><sup>a</sup>a, amII<sub>6</sub>-III<sub>1</sub></i>	<i>Карангатская трансгрессия</i>
<i>Ай-Тодор 3</i>	<i><sup>a</sup>aII<sub>6</sub></i>	<i>Предкарангатская регрессия (Днепровское оледенение)</i>
<i>Ашейский</i>	<i><sup>a</sup>a, am II<sub>5</sub></i>	<i>Позднеэвксинская и ашейская трансгрессии</i>
<i>Ай-Тодор 4</i>	<i><sup>a</sup>a II<sub>4</sub></i>	<i>Послеузунарская регрессия (Жиздринское похолодание)</i>
<i>Древнеэвксин- узунарский</i>	<i><sup>a</sup>a, am I<sub>8</sub>-II<sub>3</sub></i>	<i>Древнеэвксинско – узунларский бассейн</i>
<i>Ай-Тодор 5</i>	<i><sup>a</sup>aI<sub>8</sub></i>	<i>Послечаудинская регрессия (Окское оледенение)</i>
<i>Верхнечаудинский</i>	<i><sup>a</sup>a, am I<sub>4,7</sub></i>	<i>Позднечаудинская трансгрессия</i>
<i>Ай-Тодор 6</i>	<i><sup>a</sup>aI<sub>4</sub></i>	<i>Внутричаудинская регрессия (Донское оледенение)</i>

На 144 станциях опробования отработанных на материковом склоне, подножии склона и в глубоководной котловине в отобранных образцах описаны комплексы микрофауны, относящиеся к новочерноморскому и древнечерноморскому периодам. В 94 из 204 образцов, отнесенных к новочерноморским, древнечерноморским и новоэвксинским слоям, обнаружены включения переотложенных палеогеновых и плиоцен-плейстоценовых форм [4]. Повсеместное распространение смешанных комплексов микрофауны, включающих переотложенные формы, датируемые мелом, палеогеном и неогеном, свидетельствует о широком распространении отложений кайнозоя на шельфе и материковом склоне. Вместе с тем, следует обратить внимание на то, что в составе фауны смешанных комплексов отсутствует микрофауна, ассоциирующаяся с развитыми на побережье Крыма отложениями таврической серии. Представляется, что указанные комплексы мало распространены либо не имеют выходов на Ялтинско-Гурзуфском и Алуштинском участках шельфа и материкового склона, в области сноса, из которой происходит мобилизация материала, образующего опробованные трубами отложениями неоплейстоцена и голоцена.

На основании данных сейсмического профилирования ОГТ ВР выполнено сейсмостратиграфическое расчленение толщи осадочного заполнения прогиба Сорокина, изучены и описаны дислокации в разрезе майкопа – раннего плейстоцена, показана гравитационная природа складчатости майкопской серии в прогибе Сорокина, оконтурены Южнокрымский и Южнокерченский олистостромы, прослежены поверхности срыва в подошве олистостромов, в низах майкопской серии [5]. В верхней части материкового склона закартирована поверхность стенок срыва в тылу олистостромов, ниже располагаются гигантские олистолиты. Вблизи границы детрузивной части олистостромов, под боковым давлением от веса олистолитов деляпсивной части, пакеты оползневых блоков выжимаются вверх, образуя серию надвиговых дислокаций (чешуй). В дистальной части оползневых тел формируются асимметричные складки пропагации разломов. К локальным поднятиям рельефа кровли майкопских глин над растущими складками пропагации приурочены зоны газонасыщения осадков, связанные с латеральной миграцией газов по разрывным дислокациям. С зонами скоплений флюидов связано развитие грязевого вулканизма, образование газовых факелов и др.

На площади листа К-36-VI обнаружена группа грязевых вулканов (ГВ) в Восточно-Черноморской впадине (ВЧВ). Группа ГВ располагается в дистальной части конуса выноса Дона. Обнаружение ГВ подтверждает высказанное ранее предположение В. М. Андреева о возможности выявления грязевого вулканизма в ВЧВ. В результате анализа материалов ОГТ обнаружен грязевой вулкан на валу Андрусова, названный в честь известного организатора

Таблица 2

Сейсмостратиграфические подразделения неоплейстоцена конуса выноса Дона и глубоководной котловины Чёрного моря

Климатические полуритмы (климатолиты)	Индекс	Сейсмокомплексы ОГТ/НСАП	Сеймоподкомплексы НСАП
Новоэвксин-черноморской трансгрессии	<sup>s</sup> III <sub>ne</sub>	A4-Д	A6-Д
Новоэвксинской регрессии	<sup>s</sup> III <sub>ne</sub>		A5-A6
Сурожской трансгрессии	<sup>s</sup> III <sub>2-3</sub>		A5-A5к
Послекарангатской регрессии	<sup>s</sup> III <sub>2</sub>		A4-A5к
Карангатской трансгрессии	<sup>s</sup> II <sub>6-III</sub> <sub>1</sub>	A3-A4	A4-A4к
Предкарангатской регрессии	<sup>s</sup> II <sub>6</sub>		A3-A4к
Шахейской трансгрессии	<sup>s</sup> II <sub>5</sub>	A2-A3	A3-A3к
Послеузуларской регрессии	<sup>s</sup> a, амII <sub>4</sub>		A2-A3к
Древнеэвксин-узуларской трансгрессии	<sup>s</sup> I <sub>8-II</sub> <sub>3</sub>	A1-A2	
Послечаудинской регрессии	<sup>s</sup> aI <sub>8</sub>		
Позднечаудинской трансгрессии	<sup>s</sup> I <sub>4-7</sub>	A-A1	
Внутричаудинской регрессии	<sup>s</sup> I <sub>4</sub>		

геологических исследований И. Ф. Глумова. Вулкан расположен над вершинной поверхностью вала Андрусова, где в разрезе отсутствуют майкопские глины. В этих условиях образование ГВ может быть связано с миграцией флюидов по зонам примыкания отложений осадочного заполнения ВЧВ к кровле коренных пород вала Андрусова.

Работы выполнены по контрактам с Институтом Карпинского № 15-3/20-2 и 15-3/23-1.

#### Литература

1. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Лист L-37-XXXII (Кабардинка). Объяснительная записка / В. М. Андреев, С. К. Шельтинг, А. Ю. Глебов и др. – М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2022.

2. Мейснер Л. Б., Туголесов Д. А. Опорные отражающие горизонты в сейсмической записи осадочного выполнения Черноморской впадины (корреляция и стратиграфическая привязка) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2003 – Т. 11, № 6. – С. 83–97.

3. Шейков А. А., Шельтинг С. К. Сейсмостратиграфическое расчленение разреза неоплейстоцена черноморской котловины к серийной легенде Крымской серии листов ГК-200 // Материалы XXV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. – М. : ИО РАН, 2023. – С. 126–130.

4. Шейков А. А., Шельтинг С. К., Буркацкий О. Н. Кайнозойские отложения на шельфе и материковом склоне у побережья Крыма // Мат-лы XXIV Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. IV. – М. : ИО РАН, 2023. – С. 131–135.

5. Шельтинг С. К., Шейков А. А., Прокопцева С. В. О механизмах формирования складчатости и грязевого вулканизма в прогибе Сорокина // Периодический научно-технический журнал «Газпром нефти» «PROнефть. Профессионально о нефти». – СПб. : Научно-технический центр «Газпром нефти», 2023. – Т. 8, № 3. – С. 62–72.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
И МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ  
В ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ИЗУЧЕНИИ  
НЕДР И ЭКОЛОГИЧЕСКОМ  
МОНИТОРИНГЕ

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛЕРИТОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ПРИМЕРЕ АЛАКИТ-МАРХИНСКОГО И ДАЛДЫНСКОГО КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ (РЕСПУБЛИКА САХА, ЯКУТИЯ)

Н. Н. Анисимов, Ю. А. Чуриков, А. А. Самсонов

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова  
Москва, nikita.n.anisimov@gmail.com

Данные дистанционного зондирования Земли достаточно давно используются для поиска структур, к которым могут относиться кимберлитовые трубки [1], с помощью чего можно локализовать поисковые участки. Однако использование спектральной съемки только для структурного анализа территории сильно урезает ее возможности. Закрывая глаза на определение минералогической составляющей, упускается и перспектива выделять кимберлитовые тела, не перекрытые траппами на основе их химико-минералогической контрастности, а также возможность выделять участки, экранированные долеритами и «окна» в них. Ближайшими по получаемым данным методами исследования земной коры являются геофизические. Преимуществом методики на основе данных ДЗЗ выделения областей в сравнении с геофизическим изучением является доступность большого объема данных, оперативность в их обработке, отсутствие необходимости в проведении полевых работ и относительно низкая цена в зависимости от миссии, производившей съемку. Тем не менее, как и везде, есть свои слабые стороны, например, отсутствие в свободном доступе библиотек спектральных данных для детекции минералов и крайне малая глубинность метода. Комплексность в изучении территорий дает больше шансов на успех при поисковых работах, поскольку позволяет точнее сложить представление о изучаемых территориях, в связи с чем исследование контрастности горных пород в спектральных данных является необходимым шагом на пути к комплексному структурно-спектральному анализу территорий, производимому на основе ДЗЗ на камеральном этапе в преддверии поисковых работ.

В работе использованы открытые геофизические данные, предоставленные компанией АК «АЛРОСА» участникам Международного инженерного чемпионата CASE-IN в 2022 г. и данные дистанционного зондирования Земли спутниками миссии Landsat.

Изучаемая территория включает в себя северо-восточную часть Алаakit-Мархинского кимберлитового поля и юго-западную Далдынского. Вмещающими породами для кимберлитовых трубок Алаakit-Мархинского поля являются терригенно-карбонатные породы

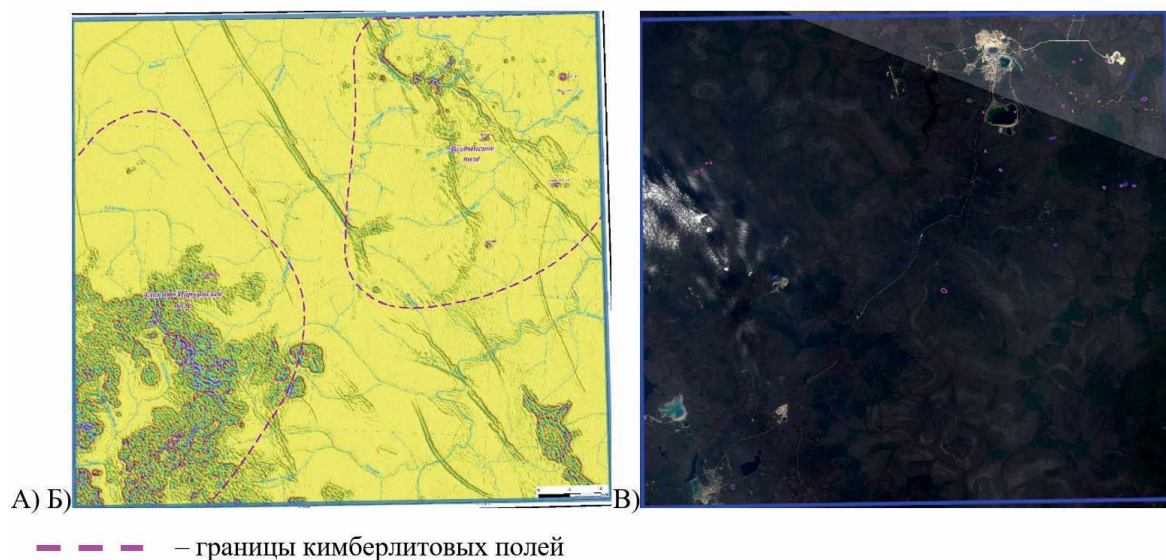
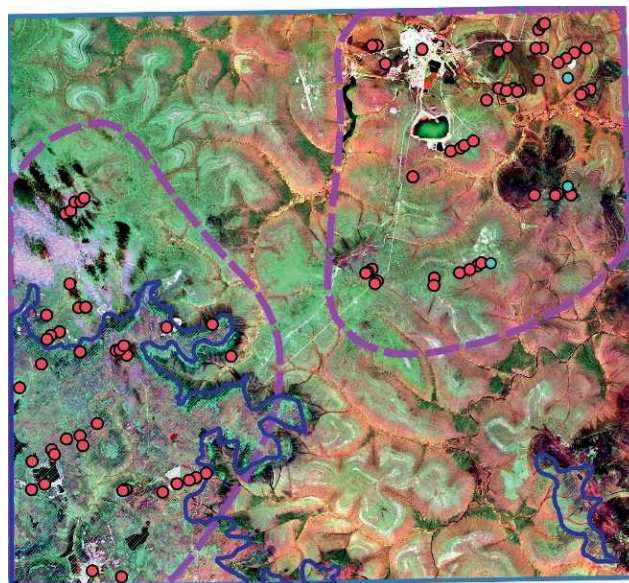


Рис. 1. Геологическая (а), геофизическая (б) карты и космоснимок Landsat 7 ETM+ в естественных цветах (в) исследуемой территории

кембрийско-силурийского возраста, которые интенсивно перекрыты трапповой формацией долеритов, в свою очередь кимберлитовые тела Далдынского поля расположены в схожей обстановке, однако отличаются меньшей степенью экранированности [2]. На геологической карте и карте магнитных аномалий (рис. 1, А, Б) можно наблюдать, что почти вся видимая территория Алакит-Мархитского поля, за исключением долин рек, покрыта долеритовыми траппами, также экранированные участки можно наблюдать в юго-восточной части. Своим минералогическим и химическим составом долериты заметно отличаются от вмещающих кимберлиты пород, что может позволить с достаточной точностью выделить их при помощи спектральных данных [3].

В основе спектрального зондирования Земли лежит способность молекулами и атомами поглощать и отражать электромагнитные волны в определенных диапазонах, образуя таким образом минимумы и максимумы на графиках поглощения/отражения. На основе этих минимумов и максимумов рассчитываются специальные индексы, демонстрирующие принадлежность того или иного участка снимка к области с содержанием того или иного материала. Данные спектрального зондирования получают при помощи ряда спутников или (в редких случаях) при помощи авиатехники. В работе использованы данные седьмого поколения спутников Landsat – Landsat 7 ETM+. Спутники этой миссии впервые были выведены на орбиту в 1973 г. Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) и Геологической службой США (USGS), а используемое поколение производило съемку Земли с 1999 г.

При расчете индексов были использованы ближние инфракрасные, красный и зеленый каналы съемки в диапазоне от 0,525 до 2300 мкм. На приведенном композите, созданном на основе индексов, рассчитанных по данным спутника, отчетливо прослеживаются границы долеритов (рис. 2.). Сравнение геофизической карты с созданным растром демонстрирует высокую сходимость по областям развития траппов. При этом RGB-композит (рис 1, В) не демонстрирует настолько явную границу между породами, что не позволяет использовать одни лишь только космоснимки Земли для оконтуривания зон с развитой трапповой формацией. Такой результат может быть объяснен высокими содержаниями железосодержащих минералов в породах, которое достаточно отчетливо фиксируется при помощи данных ДЗЗ.





-  – границы кимберлитовых полей;
-  – территории, экранированные траппами согласно геолого-геофизическим данным.

Рис. 2. Композит на основе данных спутника Landsat 7 ETM+

Таким образом можно утвердить, что определение долеритов при помощи спектрального зондирования не только возможно, но и демонстрирует достаточно высокую точность. Это реализуемо благодаря химико-минералогической контрастности определяемых пород относительно вмещающих. По этому же принципу существуют перспективы обнаружения кимберлитовых тел, однако минимальный размер объекта, который можно будет обнаружить, будет зависеть либо от разрешения сенсоров спутника, либо от размеров зоны химико-минералогического рассеяния и размеров самого кимберлитового тела. Доступность данных дистанционного зондирования и простота в работе с ними позволит покрыть огромнейшие территории картами с данными о перекрытости, а при расчете комбинации каналов для кимберлитов и – с картой приповерхностных трубок. Актуальный вопрос обнаружения погребенных трапковыми формациями кимберлитов остается открытым и требует дальнейших исследований, как и подбор комбинации каналов для обнаружения самих кимберлитов.

### Литература

1. *Ишмухаметова В. Т.* Прогнозирование коренных месторождений алмазов на севере Сибирской платформы на основе дешифрирования материалов космической съемки // Канд. дисс. – М., 2016 – 140 с.
2. *Горев Н. И., Зайцев С. А.* Прогнозирование коренных источников алмазов по тектоническим критериям // Вопросы методики прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых (применительно к объектам геологоразведочных работ АК «АЛРОСА»). – Якутск : ЯФ ГУ «Изд-во СО РАН», 2004. – С. 77–82.
3. *Лопатин Д. В.* Поиски трубок взрыва на территории Восточно-Европейской платформы с использованием аэрокосмической информации // Исследование Земли из космоса. – 2001. – № 1. – С. 62–72.

## СРАВНЕНИЕ НОВЕЙШИХ МОДЕЛЕЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО СПУТНИКОВЫМ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА АКВАТОРИЯХ

М. М. Бешок, М. С. Корнева

*ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург,  
m.beshok@vniio.ru; st075606@student.spbu.ru*

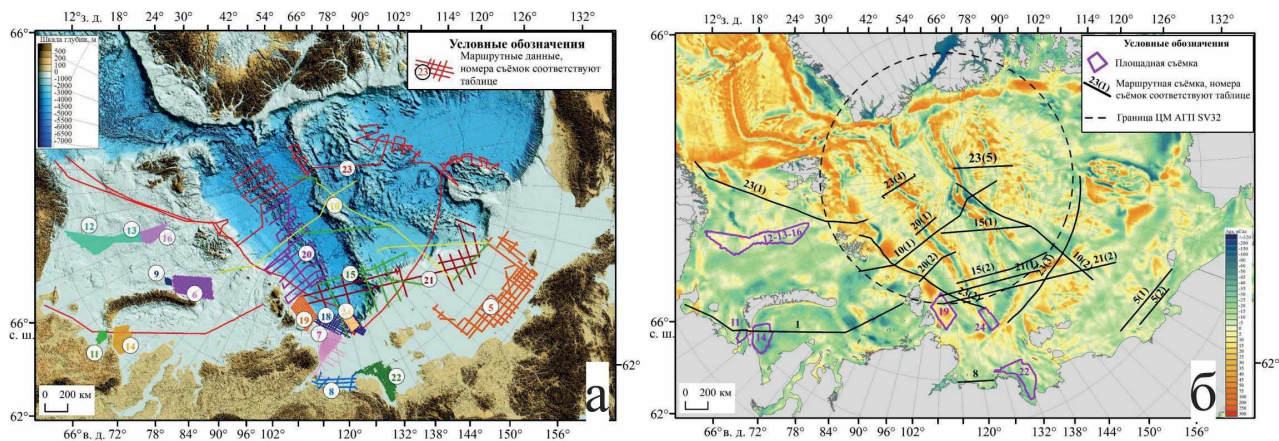
Наиболее точные измерения гравитационного поля осуществляются в ходе набортных морских гравиметрических съемок (МГС) с использованием морских гравиметров. Однако МГС не обеспечивают сплошного и равномерного покрытия больших площадей акваторий, концентрируясь на участках, перспективных на поиски углеводородов. Поэтому, несмотря на то что спутниковые измерения никогда не достигнут точности съемок с использованием морского гравиметра, они, в силу своего единообразного и полного охвата и общедоступности в сети Интернет, активно дополняют МГС при геологических исследованиях. В настоящее время цифровые модели аномалий гравитационного поля (ЦМ АГП), рассчитанные на основе альтиметрических данных, являются основой для геокартирования акваторий Мирового океана.

В настоящей работе представлены результаты совместного анализа и оценки достоверности двух новейших альтиметрических моделей АГП DTU21 [1] и SV32 [4] в сопоставлении с результатами наиболее современных МГС в пределах Северного Ледовитого океана (СЛО), дальневосточных российских акваторий, а также российских секторов Каспийского, Чёрного и Балтийского морей.

Выбранные для анализа гравитационные модели на данный момент представляют собой наиболее актуальные глобальные модели АГП в Мировом океане. ЦМ SV32 является последней версией моделей, создаваемых в институте Океанографии Скриппса США. ЦМ DTU21 – модель Датского Технологического университета.

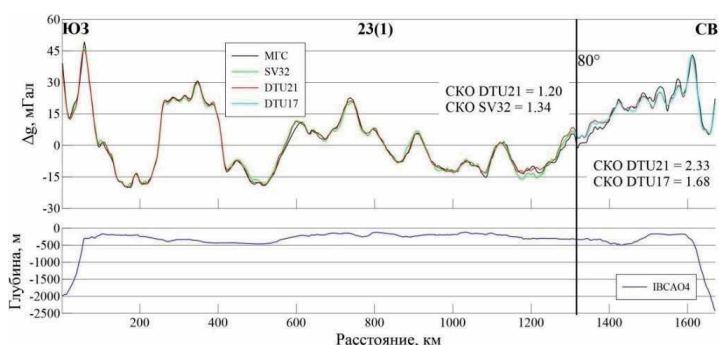
Обе модели – DTU21 и SV32 – созданы на основе практически одних и тех же данных альтиметрии. Их пространственное разрешение составляет  $1 \times 1$  угловую минуту. Основное различие состоит в разных алгоритмах вычисления.





**Рис. 1. Гравиметрические съемки с СЛО**

а – современные морские гравиметрические съемки, б – маршрутные и площадные данные, использованные для оценки достоверности ЦМ АГП SV32 и DTU21 (представлена в виде фона)



**Рис. 2. Результаты сопоставительного анализа данных МГС вдоль маршрута 23(1) с данными, извлеченными из спутниковых ЦМ АГП SV32 и DTU21, а также DTU17**

При расчетах ЦМ DTU используется остаточная высота поверхности моря (Sea Surface Heights – SSH) [3]. Это высота морской поверхности над референц-эллипсоидом.

При расчетах же моделей, созданных институтом Океанографии Скрипса [4], используется градиент высоты морской поверхности (Sea Surface Slope – SSS). Это производная от SSH, которая определяется путем дифференцирования близлежащих данных высотомера [1]. Также следует отметить, что ЦМ SV32 охватывает площадь СЛО лишь до параллели 80°с. ш., в то время как DTU21 обеспечивает полный охват. Поэтому за пределами модели SV32 модель DTU21 сопоставлялась с предшествующей ей DTU17 [2].

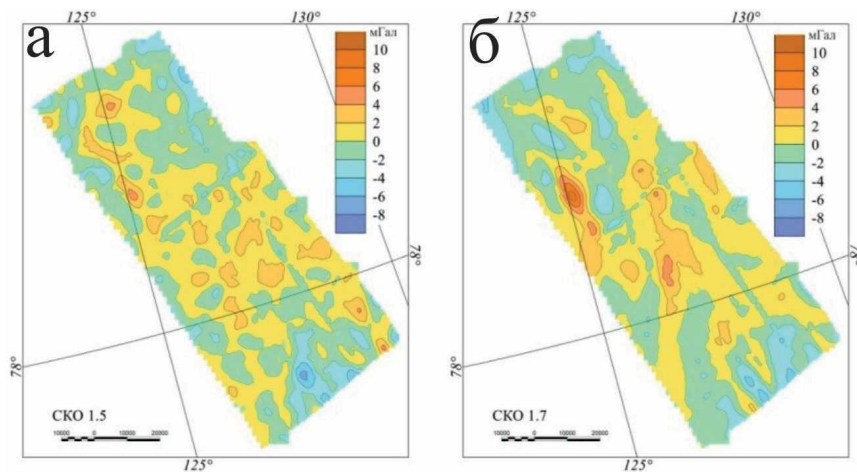
Сравнение спутниковых ЦМ АГП и полевых гравиметрических данных с расчетом SKO осуществлялось как в одномерном варианте – вдоль отдельных маршрутов МГС, так и в двухмерном варианте – на участках площадных морских гравиметрических съемок. Для непосредственного сопоставления с ЦМ DTU21 и SV32 из баз данных «ВНИИОкеангеология» предварительно были отобраны результаты наиболее современных наблюдений.

Ввиду особых географических условий СЛО и, как следствие, крайне неоднородной его изученности традиционными гравиметрическими методами (рис. 1), для СЛО появление спутниковых моделей АГП имело большое значение. В первую очередь, это внесло существенный вклад в исследование силы тяжести глубоководной части СЛО, а также позволило заполнить пробелы в изученности шельфовых морей.

Пример результата одномерного анализа по профилям представлен на графике рис. 2.

В ходе одномерного анализа и сопоставления SKO данных МГС и спутниковых ЦМ, были сделаны следующие выводы:

– наблюдается хорошее соответствие аномальных полей по результатам набортных морских измерений и вычисленных по спутниковым данным;



**Рис. 3. Результаты сопоставительного анализа ЦМ АГП, рассчитанных по данным МГС с ЦМ АГП DTU21 и SV32 на участке съёмки 24**

Разность ЦМ МГС и SV32 (а), разность ЦМ МГС и DTU21 (б)

– явного преимущества какой-либо ЦМ АГП не наблюдается;

– достоверность анализируемых спутниковых моделей возрастает на участках плоского дна, отличающихся спокойным гравитационным полем, и существенно уменьшается вдоль профилей, пересекающих участки с расчлененным рельефом или с относительно большими уклонами дна.

Большинство выбранных для анализа съёмок расположены на шельфе и отличаются гладким рельефом дна. Это связано с тем, что там сложились более благоприятные условия для работ ввиду близости к суше и отсутствия столь мощного многолетнего ледового покрова, как в глубоководном бассейне. Расчлененный рельеф характерен лишь для двух участков съёмок: № 19 и 24 (рис. 3), расположенных на западном склоне и в западном окончании Евразийского бассейна. На рис. 3 наблюдается хорошее соответствие спутниковых моделей результатам МГС (СКО менее  $\pm 2$  мГал). Расхождения приурочены преимущественно к южной части, расположенной на стыке хр. Гаккеля с морем Лаптевых.

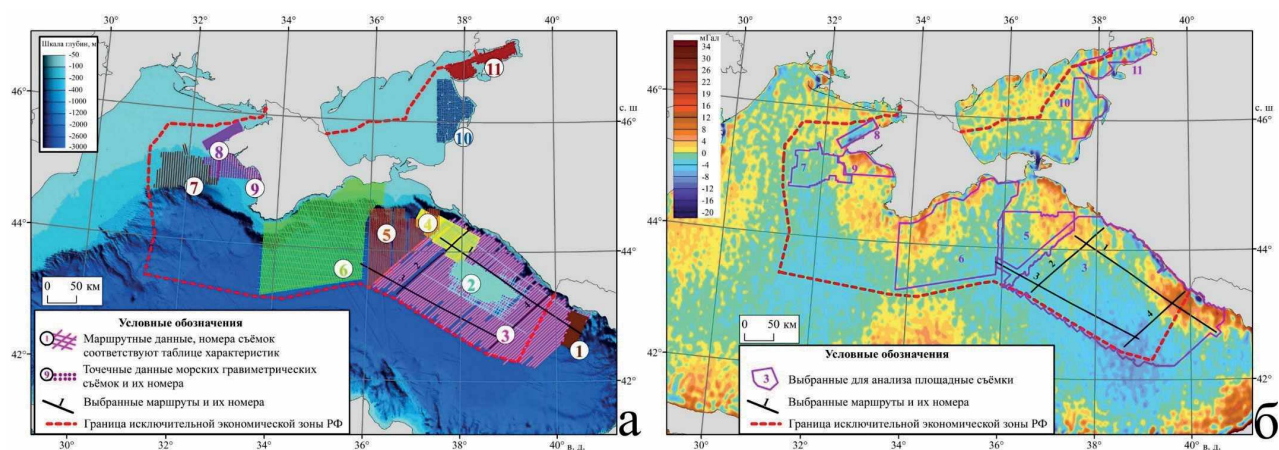
Совместный анализ по всем выбранным участкам площадных МГС показал более высокую достоверность ЦМ АГП SV32 в пределах арктического шельфа по сравнению с DTU17 и DTU21.

По аналогии со СЛО, анализ был произведен для дальневосточных морей – Берингова, Охотского, а также для участка Тихоокеанского шельфа, расположенного вдоль побережья Камчатки и Курильских островов. Было выявлено, что сохраняется генеральное соответствие значений спутниковых моделей с результатами МГС. Сохраняется и зависимость между величиной СКО и удаленностью участка съёмки от берега и характером рельефа морского дна – с удалением от берега и выполаживанием рельефа дна СКО уменьшается. Несмотря на отличия в величинах СКО, ЦМ АГП SV32, в пределах большинства исследованных участков дальневосточных морей России лучше соответствует результатам полевых МГС чем ЦМ АГП DTU21.

Двухмерный анализ в пределах Чёрного и Азовского морей показал наибольшие отклонения ( $\pm 5,4$  и  $\pm 4,8$  мГал) между анализируемыми моделями ЦМ АГП, которые проявляются в Каркинитском заливе на участке МГС № 3 (рис. 4). Для установления возможных причин таких отклонений в пределах именно этого участка были выбраны 4 субортогональных по отношению друг к другу маршрута для дополнительного профильного (одномерного) анализа (рис. 4, б).

По результатам профильного анализа стало очевидно, что наблюдается постепенное увеличение погрешности спутниковых данных (в первую очередь SV32) при приближении к суше. В целом наблюдается лучшее соответствие результатам МГС у DTU21, по сравнению с SV32.

В пределах исследованной части Каспийского моря (в противоположность Чёрному морю) модель АГП SV32 существенно лучше соответствует результатам МГС, чем ЦМ DTU21. Достоверность обеих спутниковых моделей увеличивается при удалении от суши и сглаживании рельефа морского дна.



**Рис. 4. Гравиметрические съемки в российских секторах Чёрного и Азовского морей**

а – наиболее современные данные, б – участки (маршруты) съемок, выбранные для анализа. Фон б – разность ЦМ DTU21 и SV32

В пределах Куршского залива, по результатам как одномерного, так и двухмерного анализов, ЦМ АГП DTU21 лучше соответствует результатам полевых наблюдений. Относительно небольшие величины СКО на исследованных участках (от  $\pm 0,6$  до  $\pm 3$  мГал), по сравнению с другими акваториями скорее всего связаны со сглаженным характером как рельефа морского дна, так и самого гравитационного поля. При этом наибольшие различия, как и ожидалось, были выявлены вдоль маршрутов, вытянутых вдоль островной Куршской косы.

Непосредственно в рамках настоящего исследования подтверждена ранее установленная зависимость достоверности новейших спутниковых моделей АГП SV32 и DTU21 от характера рельефа морского дна, структуры гравитационного поля и близости суши.

В глубоководной части СЛО повсеместного превосходства какой-либо из спутниковых ЦМ АГП, включая новейшую DTU21, не установлено. Напротив, в ряде районов, характеризующихся резко переменным рельефом и повышенной величиной градиента АГП (центральные части хр. Гаккеля и поднятия Ломоносова и др.), погрешность ЦМ DTU21 оказалась заметно выше, чем у предшествующей ей ЦМ DTU17. Предположительно, это связано с изменениями состояния ледового покрова, которое оказывает существенное влияние на точность альтиметрических наблюдений.

В пределах внутренних и шельфовых морей России в целом наблюдается лучшее соответствие обеих спутниковых ЦМ АГП SV32 и DTU21 результатам МГС, чем в глубоководной части СЛО. Однако лучшей из этих двух ЦМ на разных участках оказывается то одна, то другая.

В пределах шельфовой части СЛО, дальневосточных акваторий России, а также в Каспийском море более достоверной оказывается ЦМ АГП SV32, в сравнении как с ЦМ DTU21, так и с DTU17.

В пределах исследованных частей российских секторов Чёрного, Азовского и Балтийского морей, в отличие от вышеупомянутых акваторий ЦМ АГП SV32, как правило, заметно уступает по достоверности ЦМ DTU21.

Полученные закономерности можно объяснить следующим образом. Метод, основанный на SSH (модели DTU), за счет своего постоянства как над прибрежными, так и над открытыми водными пространствами, имеет преимущества по уровню точности (хоть и незначительные). Метод SSS (модели S) в целом лучше работает при расчете АГП над открытым океаном и наиболее чувствителен к топографии морского дна, за исключением случаев, когда ориентация топографии параллельна ориентации пути движения высотомера.

## Литература

1. Andersen O., Knudsen P., Ludwigsen C. et al. The DTU21 Global marine gravity field based on existing altimetric Geodetic Missions and outlook towards the use of SWOT // XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG). – Berlin, 2023.

2. Andersen O. B., Knudsen, P. The DTU17 global marine gravity field: First validation results // International Association of Geodesy Symposia. – Springer, 2020. – P. 83–87.

3. Sandwell D., Garcia, E., Soofi, K. et al Toward 1-mGal accuracy in global marine gravity from CryoSat-2 // Envisat, and Jason-1. Leading Edge 32. – 2013. – P. 892–899.

4. Sandwell D. T., Harper H., Tozer B. Gravity field recovery from geodetic altimeter missions // Adv. Space Res. – 2019. – Vol. 68, no. 2. – P. 1059–1072.

## **ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО МАГНИТНОМУ ПОЛЮ НА ПРИМЕРЕ РАБОТ ПО ЗАВЕРКЕ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ НА ПОПИГАЙСКОЙ ПЛОЩАДИ**

Е. И. Глушан

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Норильский филиал,  
Норильск, Yefim\_Glushan@karpinskyinstitute.ru*

Моделирование по потенциальным полям позволяет объединять все имеющиеся геолого-геофизические данные, представляя их в согласованном, удобном для визуализации и последующего использования виде. Помимо этого, используется при оценке минеральных ресурсов, планировании дальнейших геологических работ, а также сопровождает бурение скважин.

Важно отметить, что моделирование по одному методу крайне затруднительно ввиду множества ограничений по информативности. К примеру: гравиразведочные данные в полной мере могут отразить общую обстановку по структуре массивных плотных и разобщенных тел, но не может уточнить детали их элементов залегания так уверенно, как это позволяет делать магниторазведка на основе намагниченности горных пород.

Благодаря развитию компьютерных технологий появились программы для моделирования по потенциальным полям (рисунок). В текущее время они делятся на три типа, которые представлены в табл. 1.

Автор имеет опыт работы во всех трех видах программ, но в рамках статьи будет описан третий «творческий» вид программ, который является для автора основным. Моделирование на Попигайской площади (восточная часть Анабарского щита) выполнялось в модуле GM-SYS программного обеспечения Oasis Montaj.

Для программ такого типа необходимо учитывать девять входных параметров, представленных в табл. 2.

Наблюдаемые магнитные аномалии являются полигенными (разные источники в земной коре). То есть это тело сложной формы (имеет множество углов во всех известных направлениях и множество изменяющихся параметров внутри), которую крайне сложно описать математически, поэтому тела упрощают (аппроксимируют) простой формой.

С появлением компьютеров, способных обрабатывать большой объем данных, ситуация в обработке и моделировании мало изменилась от принятых ранее правил. Большинство существующих методов моделирования задача решается для моногенных аномалий, то есть для аномалий одного источника в изолированном пространстве. Поэтому необходимо разделить поле на моногенные составляющие.

Таблица 1

**Типы программ для моделирования по потенциальным полям**

Тип программы	Примечания
Пространственно-количественная классификация	Разделение значения полей на классы по математическим закономерностям
Построение моделей путем расчета потенциала	Путем разделения матрицы математически послойно на глубину с целью наблюдения за изменением «потенциала» поля
Подбор параметров объекта для решения обратной/прямой задачи	Обязательное использование геолого-геофизической и петрофизической информации и генерация модели с помощью инверсии или интерактивно

Входные параметры для моделирования по потенциальным полям

Параметр	Примечания
Магнитная восприимчивость ( $\kappa$ )	Характеризует реакцию вещества на приложенное магнитное поле, связующим между намагниченностью и объемной характеристикой вещества
Естественная и остаточная намагниченности ( $J$ )	Главный параметр при определении геометрических размеров рудных тел является табличной величиной
Вектор магнитной индукции ( $B$ )	Определение направления намагниченности
Углы нормального магнитного склонения ( $D$ ) и наклона ( $I$ )	Имеют особое значение в зависимости от широты, а также позволяют в случае необходимости произвести редукцию к полюсу с целью получения «истинного пространственного ориентирования тела»
Высота пересчёта прямой задачи	Сглаживание аномалии, а также дополнительной оценки глубинности магнитных тел
Рельеф	Устранение влияния приповерхностных объектов, помощь в устранении влияния эффекта приближения или отдаления от искомого тела.
Интерполяция свойств промежуточных объектов по соседним аномалеобразующим	Механизм позволяет создать сбалансированную модель, где аномалеобразующие и вмещающие тела сочетаются как геологически, так и физически/математически
Коэффициенты линейного преобразования рассчитанного поля для увязки с наблюдаемым полем (обычно обозначается как ошибка)	Отображение невязки на графике как число
Форма аномалии	Влияние на элементы залегания и форму модели

Простейшим и наиболее надежным способом разделения полей может быть учет аномального эффекта тех объектов, которые являются сторонними для данной геологической обстановки, путем решения прямой задачи – способ вычитания.

Однако часто приходится решать задачи, когда мы наблюдаем искомое тело только по графикам полей. Поэтому существует простой способ идентифицировать количество тел:

1) разделение аномальных влияний возмущающих объектов существенно различных/приблизительно равных по размерам;

2) разделение аномальных влияний возмущающих объектов, разных/приблизительно одинаковых по глубине залегания.

В 2023 г. в рамках выделенного по результатам комплексных аэрогеофизических работ была проведена комплексная наземная геолого-геофизическая съемка с целью оценки перспектив участка, выделенного по аэрогеофизическим данным, на выявление полигенного уранового оруденения «типа несогласие» с богатыми комплексными рудами, проверки обоснованности прогнозных построений, локализации конкретных площадей под проведение дальнейших поисковых работ на Попигайской площади.

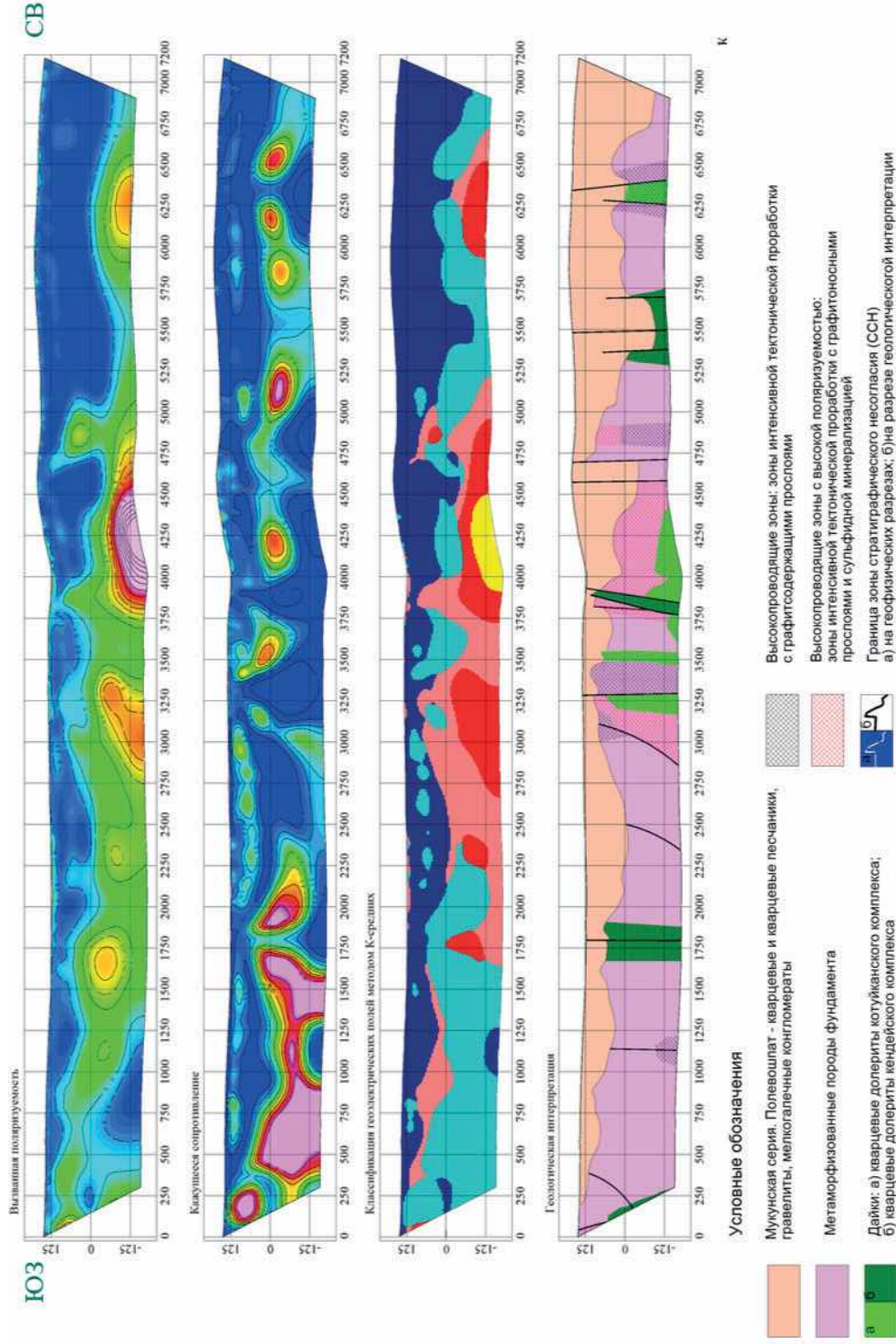
Моделирование проводилось в модуле GM-SYS платформы Oasis Montaj.

На участке было пройдено 2 профиля электротомографии 1600 и 7000 м соответственно. Профиль № 2 использовался для построения геолого-геофизического разреза.

Параметры подбирались на основании геологических съемок прошлых лет, петрофизических характеристик горных пород (табл. 3). Предполагаемая форма строилась на основе формы графика и аналитически оцененной полуширины аномалии.

Комплексирование с электроразведочными данными производилось аналитически ввиду отсутствия адекватных программных комплексов, способных производить совместное моделирование. Подобных программ не существует из-за разной физической основы обоих методов. Сопоставлялись аномалии по их положению на разрезе, а также петрофизические параметры предполагаемых объектов.

Особенно сложным участком была центральная часть разреза – дайка долеритов – а именно ее падение, пространственные размеры и положение. Сложность основная в том, что дайка



### Комплексная модель по разрезу 2-2

Петрофизические параметры для модели по профилю № 2

Магнитная восприимчивость	Интервал значений в ед. СИ
Долериты	$200-10000 \times 10^{-5}$
Терригенные породы (песчаники, глинистые песчаники, алевролиты)	$1-10 \times 10^{-5}$
Гнейсы	$600-800 \times 10^{-5}$
Мощность терригенных отложений	От 10 до 200 м

была пройдена не вкрест простирания, а под небольшим углом, к тому же дайка обратно намагниченная и располагается в области резкого понижения рельефа. Итоговый разрез представлен на рисунке.

Модель не противоречит геофизическим и геологическим данным. Более точную информацию получить не представляется возможным ввиду отсутствия сопоставимой по масштабу гравиразведочной съемки.

Итоговая модель участвовала в комплексировании и способствовала:

– уточнению пространственных размеров и положения интрузивных пород основного состава на глубине;

– выявлению разрывных нарушений, а также прослеживанию дайки долеритов;

– определению элементов залегания и локализации уранового оруденения.

Таким образом, моделирование позволяет визуализировать числовые данные, полученные в полевых условиях и, в отличие от простых графиков, позволяет подключить к ней геологическую информацию. При огромном множестве получаемых решений и неоднозначности решения обратной задачи моделирование позволяет создать базу визуальных и цифровых данных, на основе которой в дальнейшем будет выработана полноценная и достаточно достоверная картина исследуемого участка, а в дальнейшем, может быть, и рудного объекта.

### Литература

1. Глебовский Ю. С. Инструкция по магниторазведке. Наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка // Инструкции. Магниторазведка. Геофизика. – Л. : Недра, 1981. – 263 с.
2. Логачев А. А. Магниторазведка. Изд. 3-е, испр. и доп. – Л. : Недра, 1968. – 295 с.
3. Никитский В. Е., Глебовский Ю. С. Магниторазведка. Справочник геофизика. Изд. 2-е, перераб. и доп., 1990. – 472 с.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЛУБИНЫХ ПЛОТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАТОНОВ И ОРОГЕНОВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

Ю. С. Голышева, О. А. Тарасова

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург  
Juliya\_Golysheva@karpinskyinstitute.ru, Olga\_Tarasova@karpinskyinstitute.ru*

Исследования проводились в рамках создания плотностных разрезов по опорным профилям, направленным на изучение строения земной коры и верхней мантии России. Опорные геолого-геофизические профили являются основным элементом Государственной сети (каркас 1-го класса), ориентированной, в первую очередь, на создание глубинной основы современных тектонических построений по региональным (надрегиональным) структурам и зонам их сочленения. В соответствии с этим, опорные профили Государственной сети отличаются большой протяженностью (более 1000–1500 км) и глубиной (до 60–80 км). Новая информация обеспечивается комплексом полевых глубинных геофизических исследований: сейсморазведкой методами ГСЗ и МОВ-ОГТ и магнитотеллурическим зондированием (МТЗ). В последние десятилетия основной объем глубинных исследований сосредоточен в Дальневосточном регионе.

Геологическая интерпретация основывается на совокупности геофизических разрезов, созданных по результатам обработки полевых данных, и плотностных разрезов, базой для которых являются гравиметрические карты.

Плотностные разрезы, как один из базовых элементов создания глубинной геолого-геофизической модели должны способствовать решению целого ряда крупных проблем. С одной стороны, это плотностные параметры, которые (в совокупности с другими геофизическими материалами) позволяют предполагать различные породные ассоциации, с другой стороны, эти материалы должны позволить локализовать тектонические блоки различного порядка.

Плотностные разрезы создаются по методике 3D структурно-плотностного моделирования, разрабатываемой в ФГБУ «Институт Карпинского» [1]. Стартовый плотностной разрез представляет собой сумму двух составляющих: «стандартного» плотностного разреза (градиентная модель нарастания плотности с глубиной) региональных структур земной коры и локальных плотностных неоднородностей.

Так как существует прямая корреляция между скоростью упругих волн и плотностью горных пород и разрезы по данным ГСЗ отражают распределение скоростей в земной коре крупных структур, они являются основой для создания «стандартной» слоисто-градиентной модели (путем пересчета скоростей в плотности по корреляционной зависимости «Нейфа-Дрейка» [2]).

Данные о распределении локальных плотностных неоднородностей получены на основе 3D решения обратной задачи гравиметрии в спектральной области. Исходными данными для этого являются цифровые модели поля силы тяжести в редукции Буге (с плотностью промежуточного слоя  $2,67 \text{ г/см}^3$ ). С целью снижения неоднозначности решения обратной задачи полученное распределение на основе априорной информации независимо уточняется по двум параметрам: глубины залегания источников аномальных масс и их значения [1].

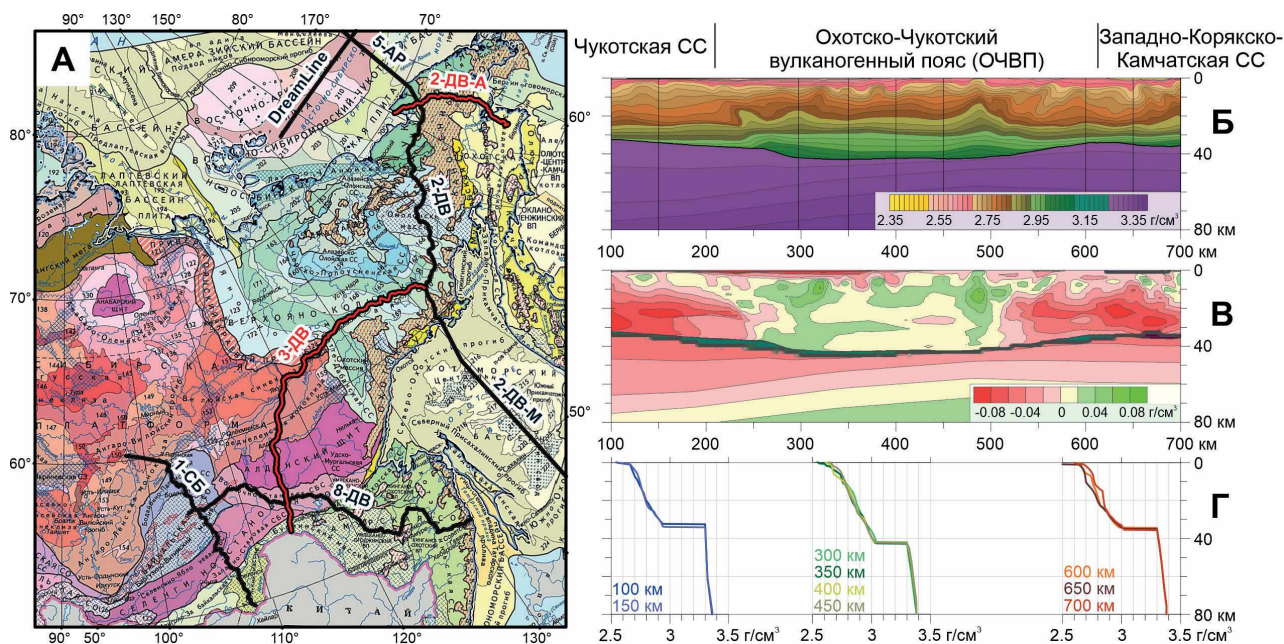
При создании стартового плотностного разреза учитываются данные других геофизических методов, закрепляются основные границы раздела земной коры: положение подошвы осадочного чехла – по данным МОВ-ОГТ, подошвы земной коры – по интерпретации данных комплекса методов; сохраняются уверенно выделяемые на скоростном разрезе внутрикоровые границы, характеризующиеся резким изменением (скачком) скоростей продольных волн. Также учитываются имеющиеся петрофизические данные о свойствах пород, слагающих самую верхнюю часть земной коры.

Полученный стартовый плотностной разрез проверяется решением прямой задачи и редактируется методом подбора до удовлетворительного совпадения расчетной и наблюдаемой кривых поля силы тяжести (среднеквадратическое отклонение менее 5 мГал – с учетом точности исходных данных).

В связи с тем, что протяженность плотностных разрезов по опорным профилям превосходит 1000 км, а в ряде случаев составляет свыше 5000 км, полученные плотностные разрезы проверяются на соответствие глобальным параметрическим моделям Земли (PREM): средняя плотность консолидированной коры блоков протяженностью более 200 км изменяется в пределах  $2,85 \pm 0,02 \text{ г/см}^3$ , плотность верхней мантии –  $3,35 \pm 0,03 \text{ г/см}^3$  (при мощности оцениваемого слоя порядка 40–50 км). Разрезы демонстрируют градиентное нарастание плотности с глубиной, гетерогенность верхней части земной коры при этом существенно выше, чем нижней. Итоговые разрезы представляют собой сеточные модели (гриды), доступные для разных видов обработки данных, позволяющих выявить как локальные плотностные неоднородности, так и (что наиболее важно), крупные элементы (области) вертикальной и латеральной делимости коры.

Одной из таких трансформант является разрез, нормированный относительно обобщенной плотностной модели Земли. Последняя представляет собой градиентную модель с нарастанием плотности от  $2,65 \text{ г/см}^3$  в кровле консолидированной коры до  $3,05 \text{ г/см}^3$  на ее подошве (при средней плотности коры  $2,85 \text{ г/см}^3$ ) и постоянной плотности верхней мантии –  $3,35 \text{ г/см}^3$  (до глубины 80 км). Редуцированный разрез, выраженный относительными плотностными характеристиками,





**Рис. 1. Оценка плотностных характеристик крупных блоков земной коры (на примере фрагмента разреза по профилю 2-ДВ-А)**

А – фрагмент карты тектонического районирования России [3] с дополнениями, Б – фрагмент плотностного разреза, В – нормированный разрез по представленному фрагменту, Г – вертикальные срезы (слайсы) плотностного разреза, сгруппированные по блокам земной коры

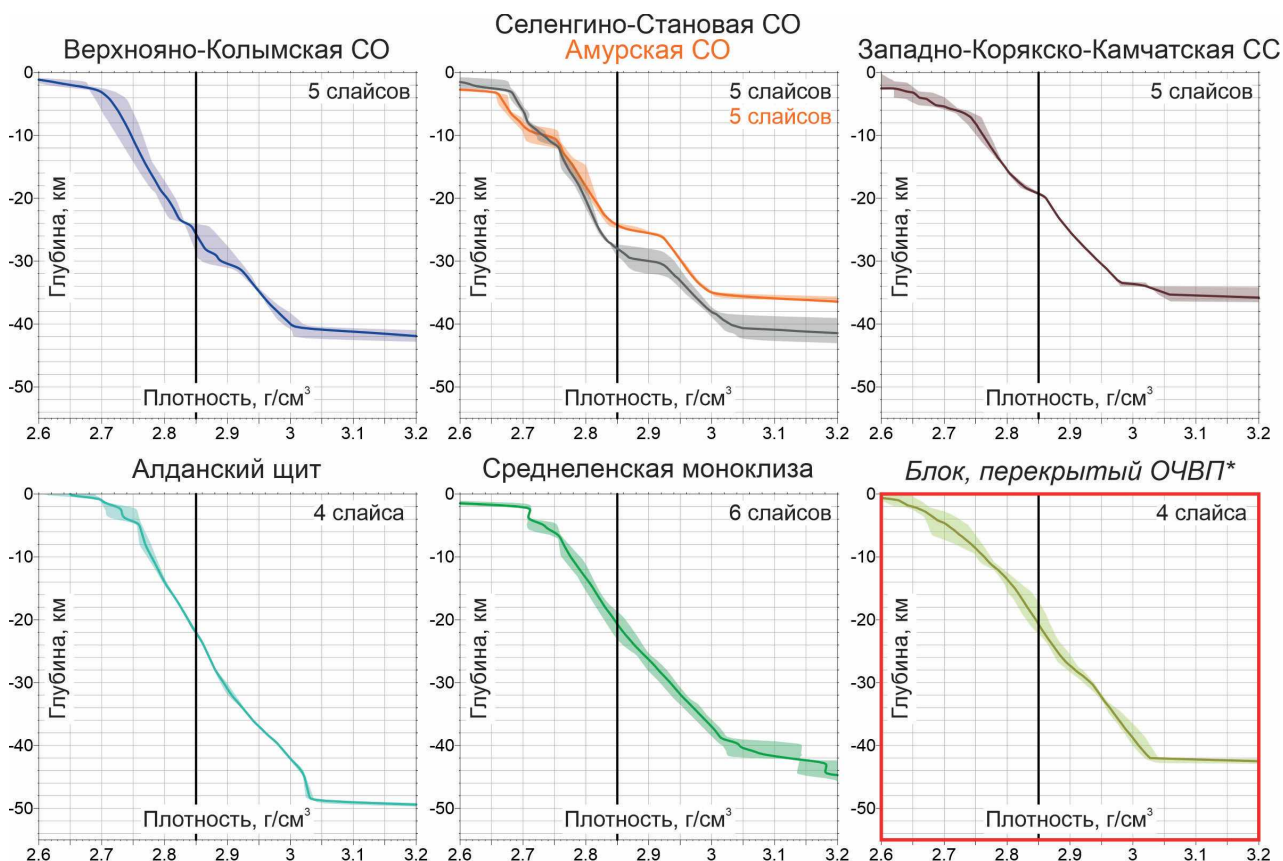
контрастно подчеркивает латеральную делимость земной коры на уровне крупных блоков, а также характерные особенности распределения плотности в их вертикальном разрезе.

Сравнительный анализ плотностных характеристик крупных блоков земной коры Дальневосточного региона проведен по данным двух опорных геолого-геофизических профилей: 3-ДВ, начинающегося в Амурской складчатой области и через Селенгино-Становую складчатую область, Алданский щит, Среднеленскую моноклизу и Приверхоянский краевой прогиб уходящего в Верхояно-Колымскую складчатую область, и 2-ДВ-А, проходящего через Чукотскую и Западно-Корякско-Камчатскую складчатые системы [3] с наложенным Охотско-Чукотским вулканогенным поясом (рис. 1).

Для крупных блоков земной коры, представленных на разрезах, были выполнены вертикальные срезы и оценен характер нарастания плотности с глубиной. Данные срезы выполнялись с шагом 50 км и затем вычислялись средние значения для каждой структуры (см. рис. 1). Таким образом, каждый блок охарактеризован облаком значений, наглядно показывающим изменчивость параметра, и осредненной кривой нарастания плотности с глубиной (рис. 2).

При сопоставлении данных по структурам Сибирской платформы и Верхояно-Колымской, Амурской, Селенгино-Становой складчатой областей получены принципиально различные плотностные характеристики этих структур. Согласно плотностному разрезу в Алданском щите и Среднеленской моноклизе, плотность кристаллической коры нарастает с глубиной равномерно: без резких скачков и смены градиента. Плотность внутри блоков изменяется в узком ( $\pm 0,01-0,02$  г/см<sup>3</sup>) диапазоне как в верхней, так и в нижней частях земной коры (см. рис. 2).

Для складчатых систем и областей (Верхояно-Колымская, Амурская, Селенгино-Становая СО, Западно-Корякско-Камчатская СС) характерно четкое двучленное деление кристаллической коры, как правило с резким изменением плотности на границе раздела и с различным градиентом нарастания плотности с глубиной для верхней и нижней частей коры. При этом изменчивость плотности в верхней коре выше, чем в платформенных структурах ( $\pm 0,03$  г/см<sup>3</sup>), а в нижней коре плотности внутри одного блока практически не изменяются.



**Рис. 2. Сравнение характера изменения плотности земной коры кратонов и орогенов с глубиной (по данным плотностных разрезов по опорным профилям 3-ДВ и 2-ДВ-А)**

Прозрачная область – огибающая данных всех слайсов по выбранной структуре; линия – среднее значение; жирная черная линия –  $2.85 \text{ г/см}^3$  (среднее значение плотности земной коры согласно модели PREM);

\* – предполагаемый блок кратонного типа в пределах Чукотской СО, перекрытый ОЧВП

Профиль 2-ДВ-А в центральной своей части (200–600 км профиля) проходит через блок, перекрытый образованиями Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. По комплексу геофизических данных, этот блок отличается наиболее мощной земной корой и более высокими значениями скоростей продольных волн и плотностей, чем в остальной части профиля. Плотностная характеристика данного блока совпадает с таковой для структур Сибирской платформы (Среднеленской моноклизы, Алданского щита). По комплексу данных можно предположить, что под наложенными структурами ОЧВП находится блок кратонного типа.

### Литература

1. Мильштейн Е. Д., Петров Б. В. Развитие методологических основ и технологии геологической интерпретации глубинных геофизических данных на опорных и региональных профилях с созданием специализированной геолого-картографической продукции и переоценкой минерагенического потенциала территорий // Известия ВСЕГЕИ. 2008. – Т. 7, № 55. – С. 135–155.
2. Brocher T. M. Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth's crust // Bulletin of the Seismological Society of America. 2005. – Vol. 95, no. 6. – P. 2081–2092.
3. Карта тектонического районирования России // Лаборатория неотектоники и современной геодинамики. – URL: [http://neotec.ginras.ru/neomaps/M200\\_Russia\\_2007\\_Tectonics.jpg](http://neotec.ginras.ru/neomaps/M200_Russia_2007_Tectonics.jpg) (дата обращения: 01.11.2024).

# ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛОСЧАТЫХ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ (BIF) ГЛАВНОЙ РУДНОЙ ТОЛЩИ КОСТОМУКШСКОГО ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА КАРЕЛЬСКОГО КРАТОНА

Т. Р. Зарипов, Н. В. Лубнина

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,

Москва, zaripov.tim000zaripov@yandex.ru

Для палеомагнитных исследований были отобраны неоархейские (2,76–2,74 млрд лет) полосчатые железистые кварциты (BIF) главной рудной толщи Костомукшского зеленокаменного пояса, входящего в состав террейна Кианта Западно-Карельской субпровинции Карельского кратона [1]. На основании метаморфогенных цирконов установлена полиметаморфическая история их формирования [1].

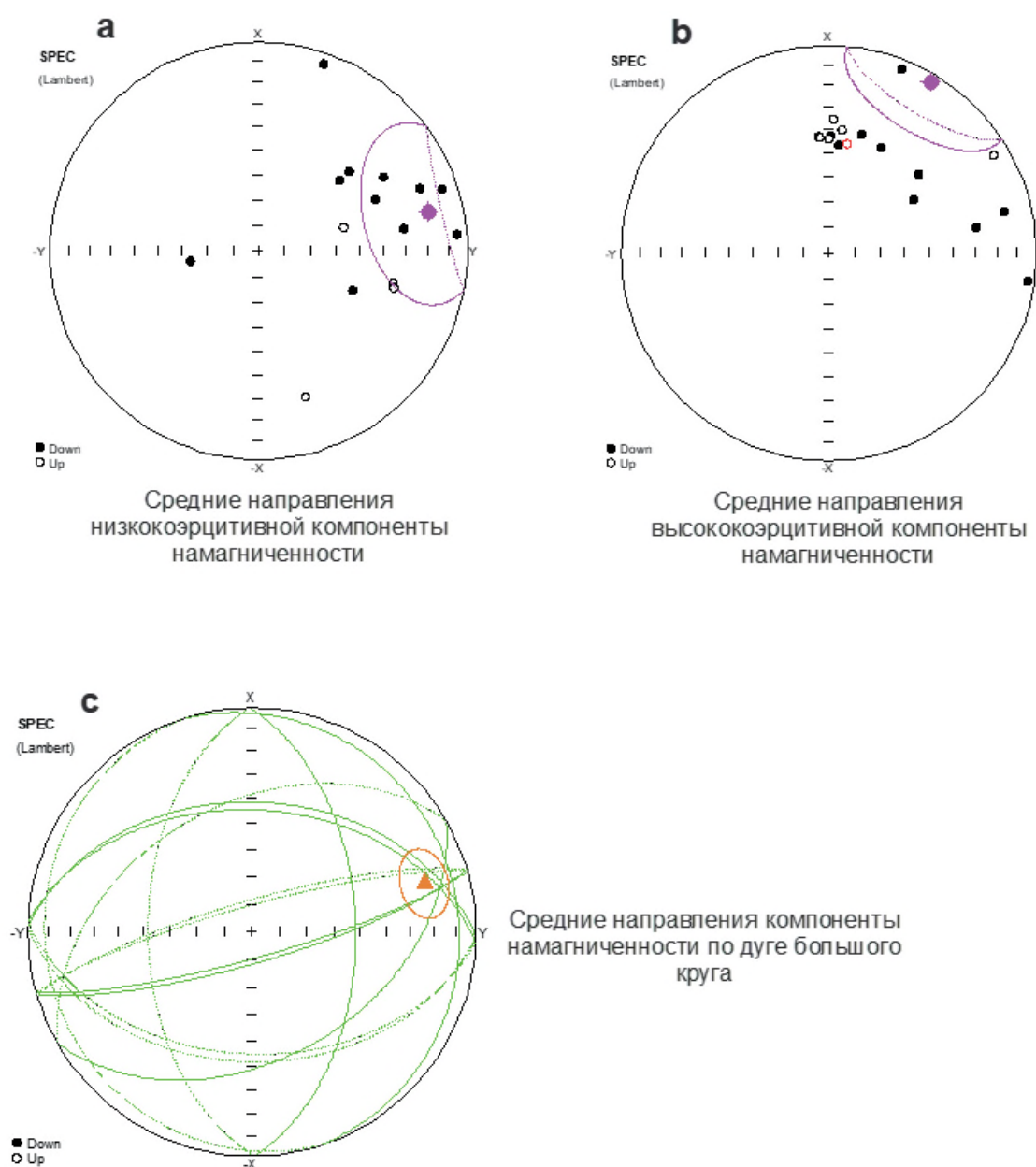


Рис. 1. Средние направления низко- и высококоэрцитивной компоненты намагниченности, а также средние направления компоненты по дуге большого круга (Great Circle)

Опробование проводилось по сайтовой методике. В четырех сайтах было отобрано по 5–10 ориентированных спилов размером  $20 \times 15 \times 5$  см. В дальнейшем из каждого спила было выпилено по 10–15 ориентированных кубиков-дублей. В первичную обработку было взято 67 кубических образцов.

Образцы с нечетными номерами прошли обработку методом размагничивания переменным полем на демагнитайзере LDA-3A-AF с бесгистерезисной приставкой AMU-1A (AGICO). Магнитная чистка каждого образца проходила со следующим шагом: 3, 6, 9, 12, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 мТл. После каждого шага размагничивания измерялась намагниченность образца на спин-магнитометре JR-6 (AGICO). Визуализация результатов магнитных чисток переменным полем проводилась с помощью диаграммам Зийдервельда [6]. Компонентный анализ проводился в программе Remasoft по стандартной методике [3]. Большинство образцов имеет двухкомпонентный состав NRM. Низкокоэрцитивная компонента намагниченности выделяется при размагничивании в поле до 20 мТл. Среднее направление этой компоненты в современной системе координат составляет:  $Dec = 83^\circ$ ,  $I = 17,7^\circ$ ,  $K = 2,68$ ,  $\alpha_{95} = 29,2^\circ$  (рис. 1, а). Высококоэрцитивная компонента намагниченности выделяется в интервале 20–90 мТл. В образце 3-7A-... эта компонента имеет северное склонение и умеренноотрицательное наклонение:  $Dec = 11,2^\circ$ ,  $I = -38,5^\circ$ ,  $K = 10,65$ ,  $\alpha_{95} = 21,5^\circ$  (рис. 1, b).

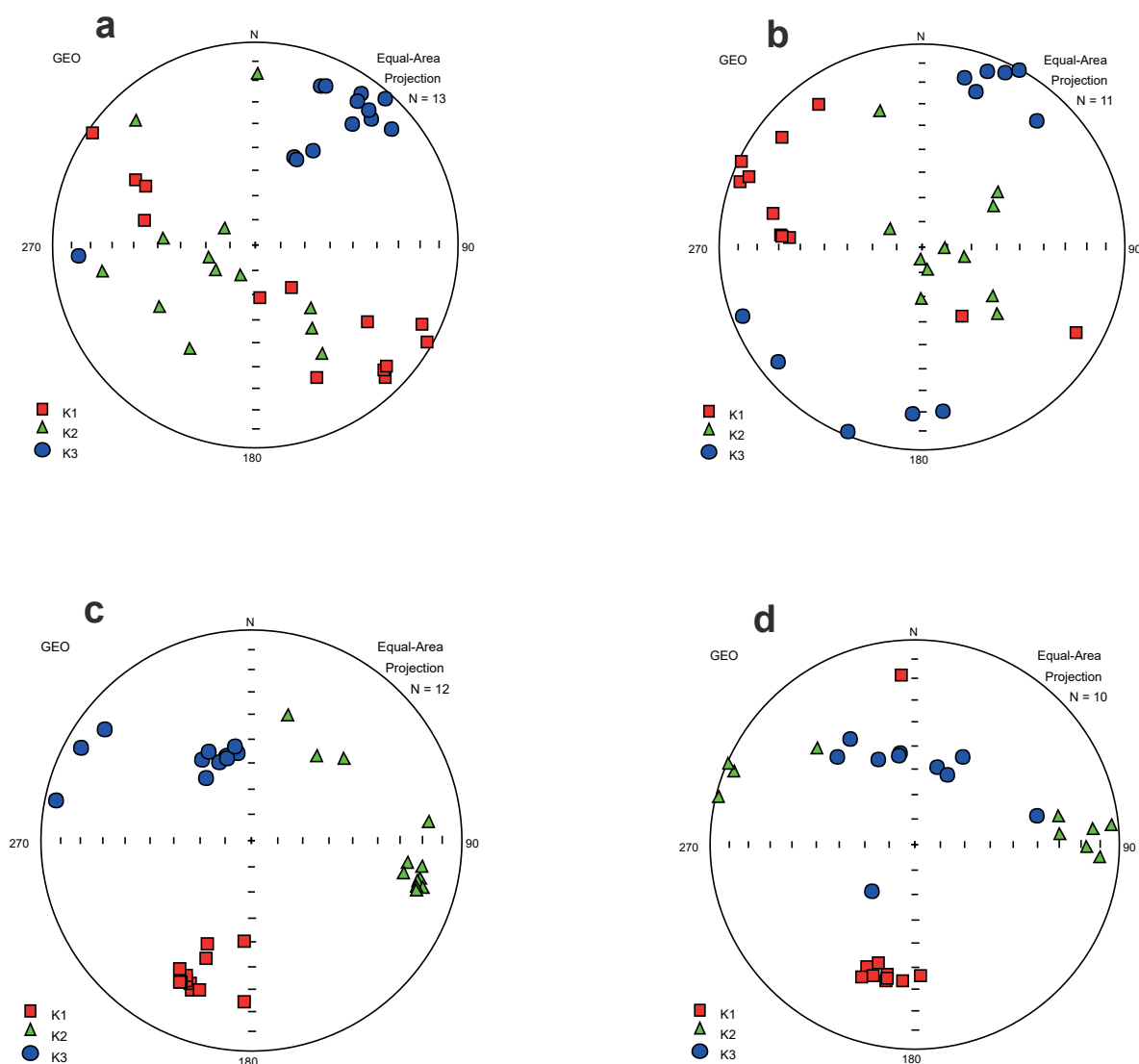


Рис. 2. Графическое представление результатов измерения анизотропии магнитной восприимчивости (AMS) на стереограммах

a – образцы 3–7A, b – образцы 1–6, c – образцы 2–10, d – образцы 2–9

В остальных образцах эта компонента «размазана» в первом и немного во втором квадранте (Dec изменяется от  $0,8^\circ$  до  $98,1^\circ$ ). Среднее направление этой компоненты: Dec =  $45,4^\circ$ , I =  $36,5^\circ$ , K =  $5,99$ ,  $\alpha_{95} = 25,6^\circ$  (рис. 1, b).

Образцы 1–6, отобранные из вмещающих базальтов, оказались очень шумными с трудно выделяемыми компонентами намагниченности. Для части образцов блокирующие коэрцитивные спектры пересекались, в таком случае для выделения компонент намагниченности использовался метод Холлса (Halls, 1976). Среднее направление: Dec =  $74,3^\circ$ , I =  $20,9^\circ$ , MAD =  $10,6^\circ$  (рис. 1, c) близко направлению выделенной низкотемпературной компоненты.

Для образцов с четными номерами планируется провести чистку температурой для проверки и корреляции с результатами АФ чистки.

У всех 67 образцов также измерена анизотропия магнитной восприимчивости (AMS). Измерения проводились по стандартной методике Лансе-Мелони. В ходе обработки обнаружены сильномагнитные свойства группы образцов 3-7А численностью 13 штук: на стереограмме видна субгоризонтальная плоскость максимальной и промежуточной оси, плоскость падает от  $306^\circ$  до  $128^\circ$  под углом  $60^\circ$  на юго-восток, эллипсоид AMS сплюснут ( $F > L$ ). Такие параметры характерны для превичной магнитной текстуры в образцах (рис. 2, a).

Далее все образцы демонстрируют слабомагнитные свойства. В образцах 1–6 из вмещающих базальтов численностью 11 шт. наблюдается похожее направление падения плоскости: от  $295^\circ$  до  $116^\circ$  под углом  $60^\circ$  на юго-восток; эллипсоид AMS сплюснут. Образцы имеют первичную магнитную текстуру, но направление совпадает с направлением в сильномагнитных образцах (рис. 2, b).

В образцах 2–10 и 2–13А наблюдается высокая степень AMS, эллипсоид трехосный, что указывает на вторичные процессы перемагничивания, преобладают структуры сжатия. Образцы 2–10 и 2–13А представляют собой конгломераты и имеют сходную магнитную текстуру. Такую же сходную текстуру имеют образцы 2–8 (рис. 2, c).

В образцах 2–9 наблюдается высокая степень AMS, при этом преобладают структуры течения, эллипсоид AMS вытянут по промежуточной и минимальной оси от  $280^\circ$  до  $100^\circ$ . Преобладают вторичные процессы (рис. 2, d).

Время приобретения породами различных компонент намагниченности можно будет определить после термической обработки.

## Литература

1. Слабунов А. И., Кервинен А. В., Нестерова Н. С. и др. Полихронная история формирования неоархейских полосчатых железистых кварцитов главной рудной толщи Костомукшского зеленокаменного пояса: возраст цирконов и аксессуарные минералы // Труды Карельского научного центра РАН. – 2022. – № 5. – С. 139–143.
2. Савко К. А., Гончаров Д. А., Нестерова Н. С. и др. Полосчатые железистые кварциты главной рудной толщи Костомукшского зеленокаменного пояса Карельского кратона: геохимия, петрография и условия формирования // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2024. – № 2. – С. 50–70.
3. Chamida M., Hrouda F. Computer program «Remasoft 3.0». – 2009. – URL: <https://www.agico.cz/text/software/remasoft/remasoft.php> (дата обращения: 01.11.2024).
4. Halls H. C. The least-squares method to find a remanence direction from converging remagnetization circles // Geophys. J. Roy. Astr. Soc. – 1976. – Vol. 45. – P. 297–304.
5. Slabunov A. I., Lobach-Zhuchenko S. B., Bibikova E. V. et al. The Archean nucleus of the Fennoscandian (Baltic) Shield // European Lithosphere Dynamics. – London, 2006. – P. 627–644.
6. Zijdeveld J. D. A. Demagnetization of rocks: analysis of results // Methods in Paleomagnetism. – Amsterdam, 1967. – P. 254–286.
7. Lanza R., Meloni A. The Earth's Magnetism: An Introduction for Geologists, March 2007 // Eos Transactions American Geophysical Union. – 2007. – Vol. 88, no. 10.

# ИЗУЧЕНИЕ СДВИГОВЫХ СТРУКТУР НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ РЕГИОНОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

М. П. Козлов<sup>1</sup>, Н. П. Сенчина<sup>2</sup>, Э. И. Исмагилова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО ПНЦ «Геостра», Уфа

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, amelyism@gmail.com

Основные объекты исследования – это разрывные нарушения со сдвиговой кинематикой и рифтовые структуры триасового возраста, которые играют ключевую роль в формировании нефтегазовых ловушек в Западной Сибири. Данный регион характеризуется широким развитием тектонических структур, которые влияют на формирование зон повышенной проницаемости, благоприятных для миграции; и структурно-тектонических ловушек для аккумуляции углеводородов.

**Цель и задачи исследования.** Целью данного исследования является уточнение тектонической структуры исследуемой территории с помощью комплексного применения методов геофизики. Задачи исследования включают:

- анализ разрывных нарушений сдвигового характера и их связи с локализацией ловушек углеводородов;
- выявление структурных особенностей грабен-рифтов и оценка их влияния на нефтегазонасность осадочного бассейна;
- разработка методики комплексирования данных сейсморазведки 2D и 3D с информацией, полученной из гравитационного и магнитного полей, для выделения зон повышенной проницаемости и нефтегазоносных структур.

**Методика исследования.** В основу работы положены данные 2D и 3D-сейсморазведки, а также цифровые модели гравитационного и магнитного полей масштаба преимущественно 1 : 200 000. Комплексирование указанных методов позволяет лучше изучить особенности тектонических структур, которые трудно поддаются интерпретации при использовании лишь одного типа данных. Особое внимание уделялось использованию методов трансформации потенциальных полей, таких как расчет локальной составляющей гравитационного и магнитного полей, расчет модуля горизонтального градиента, а также классификации аномалий.

Моделирование проводилось с использованием данных по площади листа Q-44, что позволило создать 2.5D модели структуры, более точно отражающей пространственную геометрию геологических объектов. Моделирование гравитационного и магнитного полей базировалось на результатах сейсмической съемки вдоль ключевого сейсмического профиля через Русско-Часельский вал. Это позволило создать детальную модель строения и выявить потенциальные зоны для дальнейшего изучения.

**Результаты и обсуждение.** Комплексный подход к изучению геофизическими методами в данной работе выявил наличие нескольких ключевых структур, которые играют важную роль в формировании нефтегазоносных ловушек. В частности было установлено, что сдвиговые разломы, развивающиеся в позднекайнозойский период, оказывают значительное влияние на осадочный бассейн, формируя зоны повышенной проницаемости, благоприятные для миграции углеводородов. Эти зоны выявлены с использованием методов анализа локальных составляющих гравитационного и магнитного полей.

Кроме того, в районе Русско-Часельского вала были обнаружены грабен-рифтовые структуры, которые имеют выраженные плотностные и магнитные аномалии, связанные с вулканогенно-осадочным заполнением с повышенной плотностью и магнитной восприимчивостью. Эти структуры оказывают значительное влияние на формирование нефтегазовых залежей, что подтверждается корреляцией между бортами рифтов и известными месторождениями углеводородов.

С помощью расчета модуля горизонтального градиента высокочастотной составляющей магнитного поля были выделены зоны, совпадающие по ориентации и протяженности

со сдвиговыми разрывами, обнаруженными на данных 3D-сейсморазведки. Это позволяет сделать вывод о значительном влиянии сдвиговой тектоники на формирование структурно-тектонических ловушек углеводородов в регионе, а методы потенциальных полей рассматривать как оперативный способ прогноза положения таких разрывных нарушений.

**Заключение.** Результаты данного исследования подтверждают высокую эффективность комплексного использования данных сейсморазведки и потенциальных полей для выявления и анализа сложных тектонических структур, имеющих нефтегазоносный потенциал. Использование многопрофильного подхода позволяет более точно прогнозировать перспективные участки для детальной разведки и разработки углеводородных месторождений, а также снижать риски при их эксплуатации.

Дальнейшее развитие методик комплексной интерпретации и продолжение исследований по увеличению точности моделирования структурных особенностей региона может существенно повысить эффективность геологоразведочных работ, что имеет важное значение для нефтегазовой отрасли.

### Литература

1. Цифровой двойник недр России – URL: <https://wega.vsegei.ru/site/gisatlas?g=59.23262826,56.818375,8&map-base-0=1> (Дата обращения: 21.07.2024).
2. Агеев А. С., Егоров А. С. Структурно-вещественные неоднородности земной коры в пределах региональных сдвиговых зон по результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных // Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии. – 2018. – Т. 2. – С. 359–362.
3. Агеев А. С., Илалова Р. К., Таловина И. В. и др. Связь между пространственным распределением тектонических дислокаций Байкало-Становой сдвиговой зоны и источниками минеральных вод региона // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 5. – С. 173–180.
4. Большакова Н. В., Егоров А. С., Агеев А. С. Особенности глубинного строения северной части Охотской нефтегазоносной провинции по результатам качественной интерпретации потенциальных полей // ГЕОЕВРАЗИЯ-2021. Геологоразведка в современных реалиях. – 2021. – Т. 1.
5. Гогоненков Г. Н., Тимурзиев А. И. Сдвиговые деформации в чехле Западно-Сибирской плиты и их роль при разведке и разработке месторождений нефти и газа // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 3. – С. 384–400.
6. Гурари Ф. Г. и др. Геологическое строение и нефтегазоносность нижней–средней юры Западно-Сибирской провинции. – Новосибирск : Наука, 2005. – 156 с.
7. Гусев Е. А. Итоги и перспективы геологического картирования арктического шельфа России // Записки Горного института. – 2022. – Т. 255. – С. 290–298.
8. Думанский А. М., Русин М. Ю., Неповинных В. И. Геометрия преобразований при простом сдвиге // Ученые записки Казанского университета. Серия Физико-математические науки. – 2018. – Т. 160, № 1. – С. 196–206.
9. Калинин Д. Ф., Долгаль А. С., Ворошилов В. А. Вероятностный анализ геолого-структурных перспектив нефтегазоносности Западной Якутии с применением трехмерной эмпирической модовой декомпозиции потенциальных полей // Георесурсы. – 2024. – Т. 26, № 2. – С. 53–68.
10. Калинин Д. Ф., Яновская Ю. А., Долгаль А. С. Использование статистических методов интерпретации потенциальных полей для изучения структурно-тектонического строения нефтегазоперспективных территорий // Геология нефти и газа. – 2021. – № 2. – С. 27–36.
11. Лебедева Е. А., Файбусович Я. Э., Назаров Д. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Западно-Сибирская. Лист Q-44 – Тазовский. Объяснительная записка – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2020. – 191 с.
12. Мингалеева Т., Горелик Г., Егоров А. и др. Коррекция глубинно-скоростных моделей методом гравиметрической разведки для труднодоступных участков шельфовой зоны // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 10-1. – С. 77–86.
13. Мовчан И. Б., Асянина В. Ю. Опережающий прогноз плотностной нестационарности верхней части разреза // Записки Горного института. – 2014. – Т. 207. – С. 190–194.
14. Мовчан И. Б., Шайгаллямова З. И., Яковлева А. А. Выявление факторов структурного контроля коренных золоторудных проявлений методом беспилотной аэромагниторазведки на примере Нерюнгринского района Якутии // Записки Горного института. – 2022. – Т. 254. – С. 217–233.
15. Модель структуры и тектоническая эволюция системы разломов в южной части региона Хур, Центральный Иран / А. Сохраби, А. Надими, И. В. Таловина, Х. Сафай // Записки Горного института. – 2019. – Т. 236. – С. 142–152.
16. Тектоническая карта фундамента Западно-Сибирской плиты / Под ред. В. С. Суркова. – 2000.
17. Телегин А. Н. Возможности сейсморазведки при изучении кристаллического фундамента // Записки Горного института. – 2017. – Т. 223. – С. 30–36.

18. Телегин А. Н. Методика и технология сейсморазведочных работ методом отраженных волн. – СПб. : Санкт-Петербургский горный институт, 2010. – 83 с.
19. Тимурзиев А. И. Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты (в связи с нефтегазоносностью). Часть 1 // Глубинная нефть. – 2013. – Т. 1, № 4. – С. 561–605.
20. Халуллин И. И., Шелихов А. П., Яццкий Н. Н. Анализ взаимосвязи между аномалиями потенциальных полей и структурным каркасом осадочного чехла Западной Сибири. Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей // Мат-лы 47-й сессии Международного научного семинара Д. Г. Успенского – В. Н. Страхова, Воронеж, 27–30 января 2020 года. – Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2020. – С. 288–290.
21. Beygi S., Ilalova R. K., Talovina I. V. et al. Kinematic analysis of the Nain and Darrech Den faults and their structural position in the western side of the central Iranian range // *Geodynamics and Tectonophysics*. – 2024. – Vol. 15, no. 3.
22. Egorov A., Antonchik V., Senchina N. et al. Impact of the Regional Pai-Khoi-Altai Strike-Slip Zone on the Localization of Hydrocarbon Fields in Pre-Jurassic Units of West Siberia // *Minerals*. – 2023. – Vol. 13. – P. 1511.
23. Glazunov V. V., Efimova N. N. Adaptive filter for detection of isometric magnetic anomalies of archaeological objects // 11<sup>th</sup> European meeting of environmental and engineering geophysics of the near surface geoscience division of the Eage, Near Surface 2005, 2005.
24. Kalinin D. F., Egorov A. S., Bolshakova N. V. Oil and Gas Potential of the West Kamchatka Coast and Its Relation to the Structural and Tectonic Setting of the Sea of Okhotsk Region Based on Geophysical Data // *Russian Journal of Pacific Geology*. – 2024. – No. 17.
25. Krikun N. S., Abdrahmanov I. A., Talovina I. V. Study of the Faults Network of Kunashir Island (Kuril Islands) in Order to Reconstruct the Features of its Tectonic Evolution // *Russian Journal of Earth Sciences*. – 2024. – Vol. 24, no. 2. – ES2012.
26. Mingaleva T. A., Gorelik G. D., Putikov O. F. Evaluation of the applicability of the technology of gravimetric correction of the depth-velocity model of the environment by means of synthetic modeling // 7<sup>th</sup> Scientific Exploration Conference – Tyumen : Natural Resources Management as a Cross-Functional Process, 2021.
27. Oomes S. Diagonals of an Ellipse // Stijn Oomes PhD. – 2019. – .URL: <https://stijnoomes.com/2019/09/23/diagonals-of-an-ellipse/> (дата обращения: 21.07.2024).

## СОЗДАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ, ОТОБРАЖАЮЩИХ ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ РЕЧНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

А. Ю. Каширский

*Московский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения  
«Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Московский филиал, Москва, a.kashirskii@mfkarpinsky.ru*

В последние десятилетия на территории Сибирского ФО и Дальневосточного ФО выполнен значительный объем речных сейсмических работ МОГТ-2Д в рамках проведения региональных геологоразведочных исследований на нефть и газ. Глубинность этих работ, согласно геологическому заданию, не превышает нескольких километров и преимущественно ограничивается осадочным чехлом. Начиная с 2007 г. на реках Восточной Сибири – Лена, Нижняя Тунгуска, Витим (всего около 2700 пог. км), специалистами ФИЦ ЕГС РАН выполняются полевые сейсмические работы с применением технологии регистрации данных, основанной на использовании автономных регистраторов «Байкал» с широким динамическим диапазоном, устанавливаемых вдоль профиля на берегу реки и осуществляющих запись в непрерывном режиме. Работа регистраторов и пневмоисточников синхронизируется по времени, а временной интервал между возбуждениями составляет 18–23 с, что позволяет формировать из непрерывной записи сейсмических сигналов сейсмограммы общего пункта приема большой длительности, вплоть до периода между возбуждениями.

Обработка сейсмических материалов с увеличенной длиной записи выполнялась на основе технологий, разработанных и применяемых в течение длительного времени к материалам опорных геолого-геофизических профилей, характеризующимся высокой гетерогенностью среды



и слабым уровнем сигнала. Основное внимание было уделено решению задачи повышения информативности сейсмических разрезов по речным профилям в глубинной их части, соответствующей консолидированной земной коре и переходу нижняя кора/верхняя мантия. При этом учитывались специфические особенности данных речной сейсморазведки, обусловленные главным образом методикой проведения полевых работ:

- большой объем первичных сейсмических данных, требующий наличие высокопроизводительного вычислительного центра, и существенные затраты машинного времени;
- сильная криволинейность трассы профиля, определяемая кривизной русла реки, что вносит определенные сложности в процесс бинирования сейсмических трасс;
- высокая кратность наблюдений, характеризующаяся значительной невыдержанностью вдоль линии профиля;
- нерегулярная система наблюдений с невыдержанными интервалами между пунктами возбуждения и приема, как следствие – крайне неравномерное распределение трасс по удаленностям в сейсмограммах ОПП;
- низкий уровень сигнала, особенно на временах регистрации свыше 2–3 с и на больших удалениях от пункта возбуждения;
- высокий уровень шумов, связанных с течением воды, аппаратными наводками, техногенными помехами от судна-буксира.

В результате анализа первичных сейсмических данных по речным профилям была выработана последовательность действий, направленная на решение общих задач:

- выбор траверсной линии бинирования, максимально возможно приближенной к трассе профиля;
- подбор оптимального поперечного и продольного размера бинов, обеспечивающего повышение кратности суммирования малоамплитудных отражений на больших временах регистрации без существенного искажения геометрии отражателей, наблюдаемых в разрезе;
- тщательная подготовка данных для препроцессинга, вследствие большого числа некондиционных трасс и высокоамплитудных помех, просечек и т. д.;
- выбор алгоритма и параметров деконволюции, учитывая слабый уровень полезного сигнала или его отсутствие на высоких частотах в глубинной части разреза.

Окончательным результатом обработки речных данных МОГТ являются сейсмические разрезы МОВ-ОГТ на всю длину записи (22–23 с).

Несмотря на более высокий уровень шумов, чем при наземной глубинной сейсморазведке, качество полученных разрезов позволяет изучать строение кристаллической коры на всю ее мощность, вплоть до границы раздела кора–мантия. Отражающие элементы различной степени когерентности, как одиночные, так и в составе волновых пакетов, перемежающиеся акустически прозрачными зонами, прослеживаются по всей кристаллической части земной коры.

В результате обработки речных сейсмических материалов с удлиненной записью получены достоверные сведения о глубинном строении территорий, где в силу сложных орографических условий затруднено или вовсе невозможно проведение наземных сейсмических работ. Доказана принципиальная возможность привлечения такого рода материалов для изучения строения земной коры на всю ее мощность.

## Литература

1. Лисейкин А. В., Селезнев В. С., Соловьев В. М. и др. Методика изучения строения земной коры на всю мощность средствами речной сейсморазведки // Докл. РАН Науки о Земле. – 2022. – Т. 502, № 2. – URL: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid = danzem&year = 2022&vol = 502&iss = 2&file = DANZem2202009Liseikin.pdf> (дата обращения: 20.05.2024).
2. Лисейкин А. В., Селезнев В. С., Соловьев В. М. и др. Построение разрезов земной коры до границы Мохоровичича по малоамплитудным отраженным волнам речной сейсморазведки методом ОГТ-2D (р. Витим, зона сочленения Ангаро-Ленской моноклизы сибирской платформы и Бодайбино-Патомской складчатой системы) // Геология и геофизика. DOI: 10.15372/GiG2024150.

# КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КАРТИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГДП-200 ЛИСТОВ R-58-XXVII, XXVIII

В. Г. Куричев<sup>1,2</sup>, К. Н. Мазуркевич<sup>1</sup>, Д. Е. Зубов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург,  
Vladislav\_Kurichev@karpinskyinstitute.ru

**Введение.** Работы проводятся в рамках объекта «Проведение в 2022–2024 годах региональных геологосъемочных работ масштаба 1 : 200 000 на группу листов в пределах Дальневосточного ФО (северо-восточные районы)».

Площадь работ находится на территории Билибинского района Чукотского автономного округа. Территория является частью Анойского нагорья. На этой территории проводились исследования в различные периоды, основной из которых приходится на середину прошлого века. Основное направление исследований было связано с поисками золота.

Во время работ на территории листов R-58-XXI, XXII, XXVII, XXVIII проводились комплексные аэрогеофизические исследования.

**Влияние аэрогеофизических исследований.** На стадии обработки и анализа геофизических материалов были выявлены две крупные контрастные области, отличающиеся повышенной дозой суммарного гамма-излучения, относящегося к ториевой специализации. (рис. 1). Северная площадь на карте предшественников [2] была представлена как первая фаза тымкивеевского монзонит-диоритового плутонического комплекса, южная площадь была включена в состав гранитного массива, представленного первой фазой сухарнинского гранодиорит-лейкогранитового плутонического комплекса.

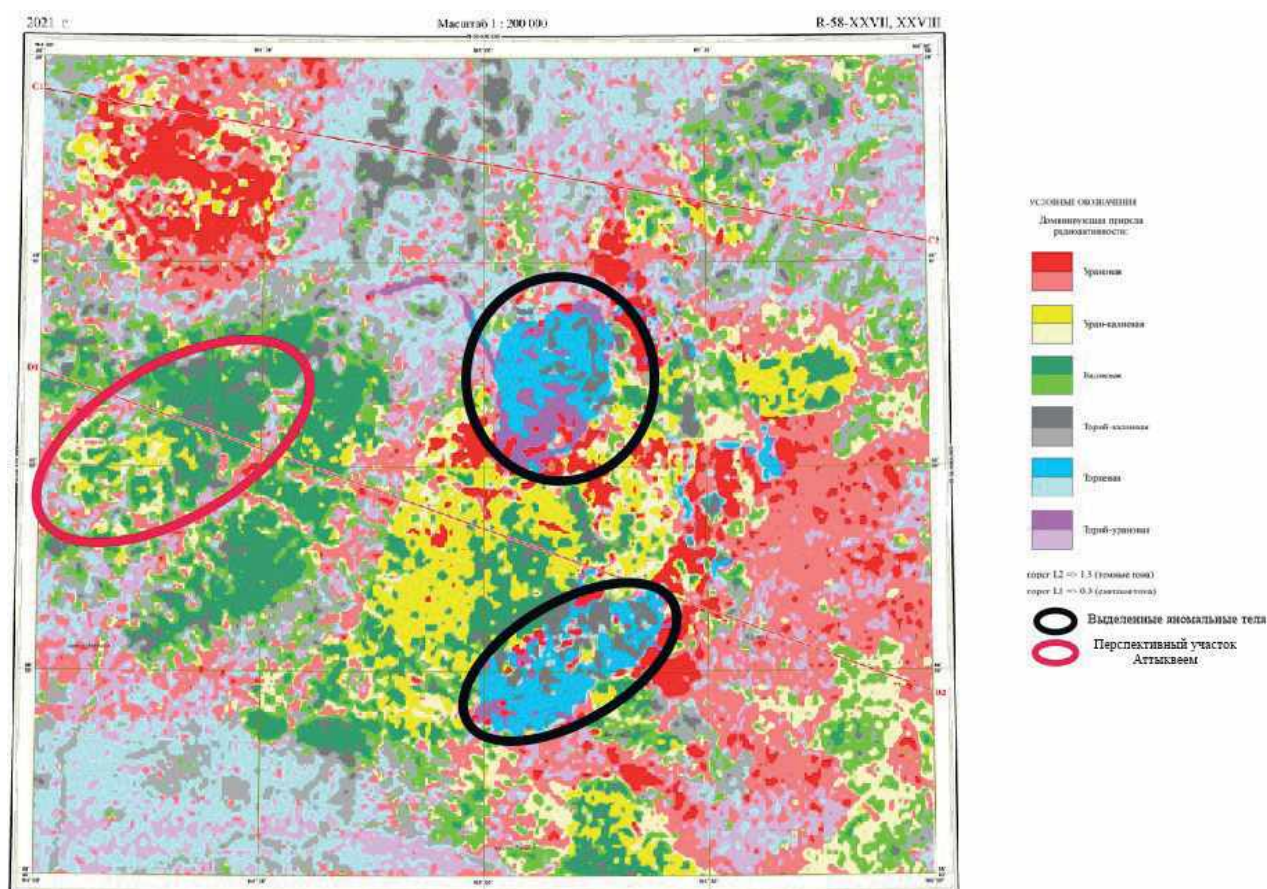
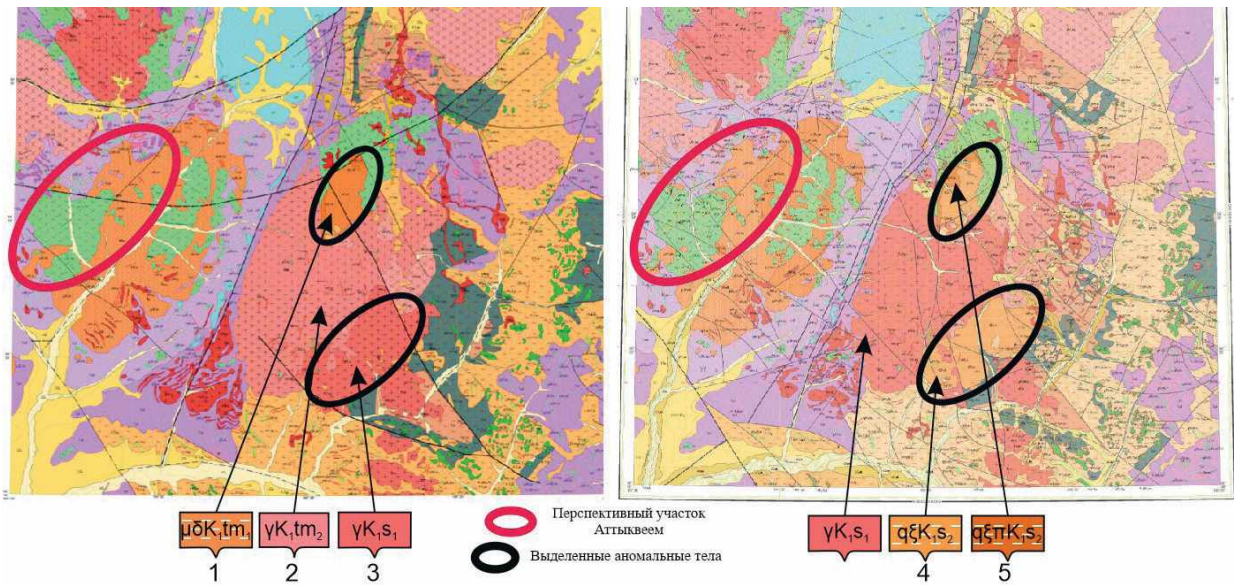


Рис. 1. Карта радиогеохимической зональности с выделенными аномальными телами



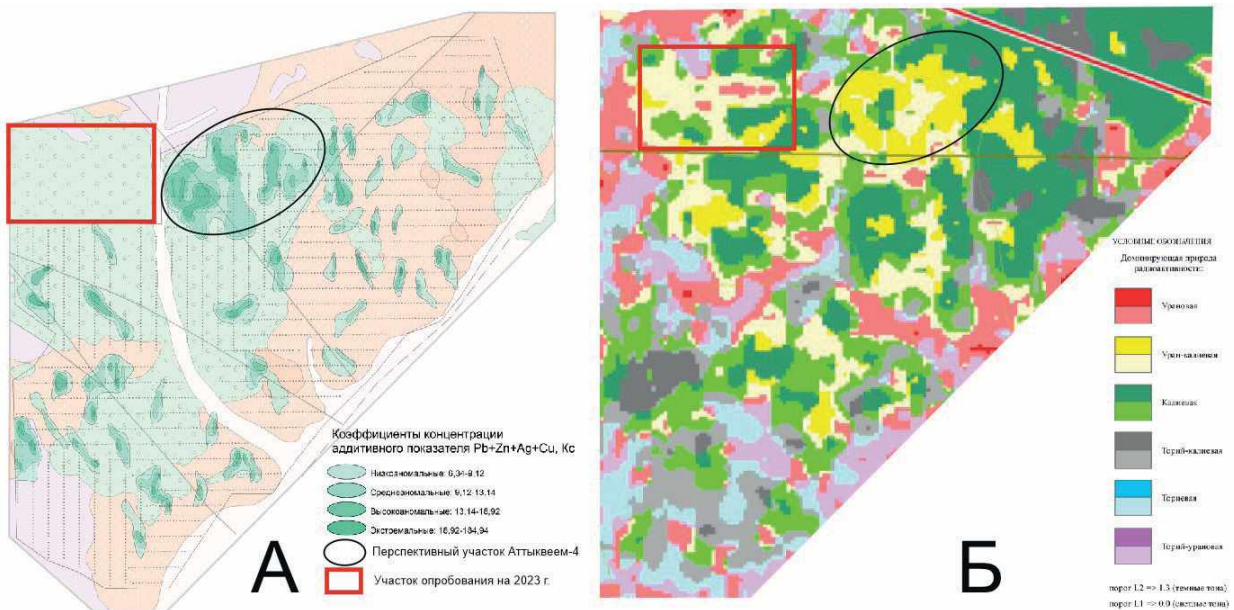
**Рис. 2. Геологические карты 2021–2023 гг.**

1 – первая фаза тымквивеевского комплекса: монцодиориты, 2 – вторая фаза тымквивеевского комплекса: граниты, 3 – первая фаза сухарнинского комплекса: граниты, 4 – вторая фаза сухарнинского комплекса: кварцевые сиениты, 5 – вторая фаза сухарнинского комплекса: кварцевые сиенит-порфиры

В ходе полевых работ Алярмаутской партии отдела РГ и ПИ Дальнего Востока была проведена заверка вышеупомянутых участков.

По результатам комплексного изучения пород, включающего изучение детального петрографического и химического составов, был уточнен возраст данных образований и установлена стратиграфическая принадлежность к иному комплексу. Так, оба тела представлены кварцевыми сиенитами. Данные изотопного датирования U-Pb методом показали результат, не соответствующий тымквивеевскому комплексу, который имеет возраст ~120 млн лет.

Таким образом, породы Алярмаутского массива имеют возраст от 100 до 109 млн лет и относятся к сухарнинскому плутоническому комплексу. Центральная часть массива, которая изначально была выделена как граниты второй фазы тымквивеевского плутонического комплекса,



**Рис. 3. Карта распространения геохимических аномалий**

А – Аддитивный показатель геохимических аномалий, наложенный на геологическую карту, Б – карта радио-геохимической зональности [3]

обладает более молодым возрастом, который соответствует первой фазе сухарнинского плутонического комплекса (100–106 млн лет). Северная и южная части массива имеют возраст 105 до 109 млн лет и выделяются как вторая фаза сухарнинского плутонического комплекса.

Отрисовка границ тел проводилась в том числе основываясь на геофизических исследованиях (рис. 2).

**Геохимические поиски.** В 2022 г. на территории Аттыквеевского массива (участка) проводились работы по отбору проб вторичных ореолов рассеяния. На площади предполагалось серебро-полиметаллическое оруденение. В ходе работ вся территория массива была покрыта площадной съемкой по сети  $100 \times 500$  м.

После получения результатов аналитики были построены карты распределения геохимических аномалий по полезным элементам: серебро, цинк, свинец, медь. Также была построена карта распределения аддитивного показателя  $Ag + Pb + Zn + Cu$  (рис. 3, А).

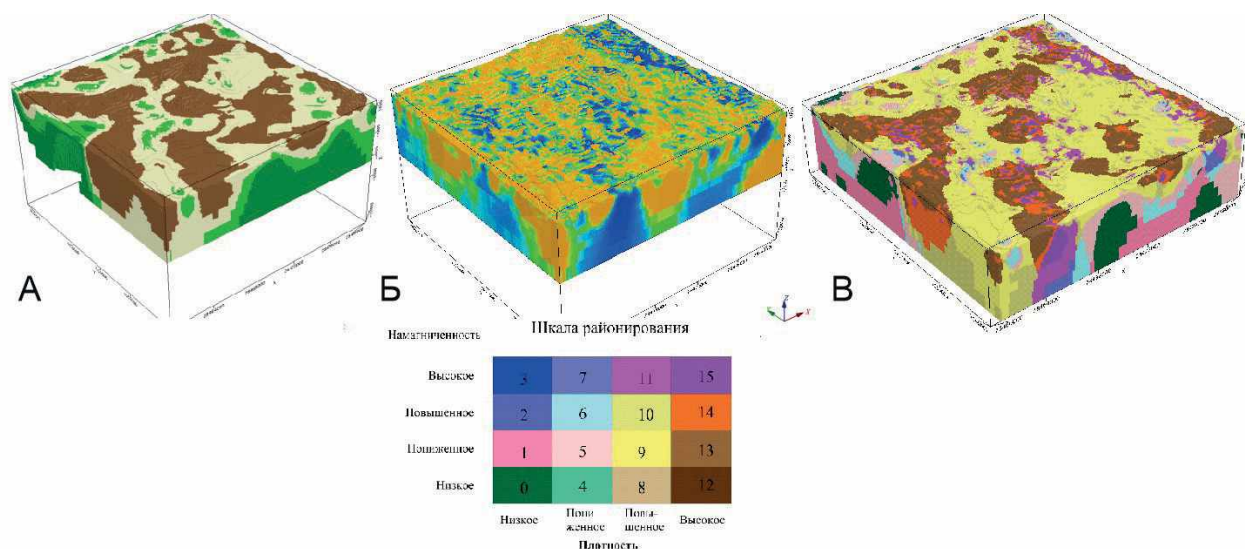
При анализировании распределения аномалий было замечено, что основная часть тяготеет к зонам распространения метосоматитов (пропилиты и березиты по породам андезитового состава). Также отмечалось, что аномалии ореолов рассеяния приходятся большей частью на зону распространения пород уран-калиевой специализации (рис. 3, Б).

Благодаря комплексному подходу, на 2023 г. была запланирована постановка площадных геохимических работ на северной части территории, названной Аттыквеем-4, масштаб съемки  $1 : 25\,000$  (сеть  $50 \times 250$ ). Данная территория представляет собой интерес как перспективная площадь ранга рудного поля.

Дополнительно работы по площадной съемке были поставлены на территорию западнее участка Аттыквеем-4, так как при комплексном анализе материалов, предположительно, данная территория также может иметь перспективы.

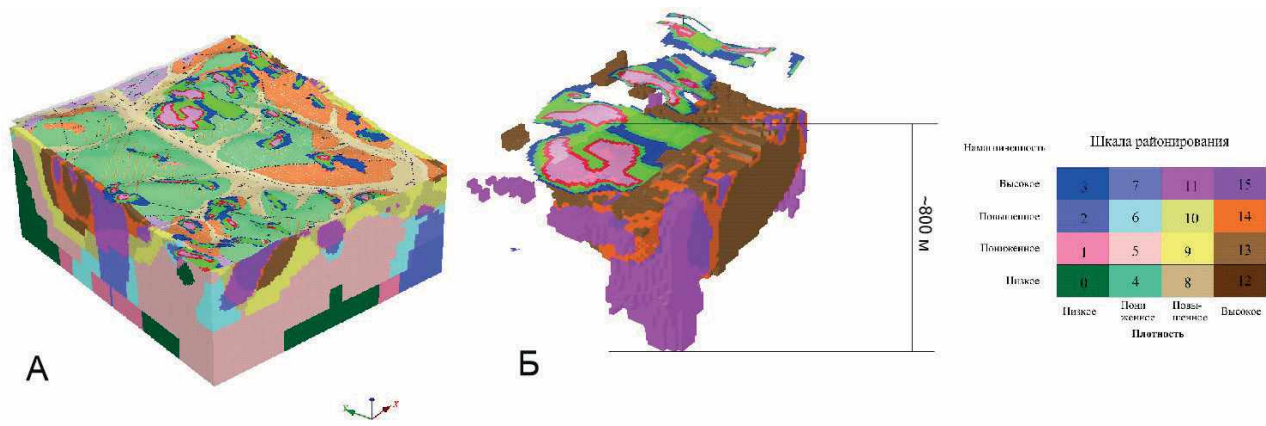
**3D построения.** Для перспективной Аттыквеевской площади Д. Е. Зубовым были построены локальные объемные модели по гравиметрическим (рис. 4, А) и магнитометрическим (рис. 4, Б) данным [1]. Далее проводился комплексный анализ геофизических данных, в ходе которого была построена модель районирования площади по сочетанию плотностных характеристик и магнитной восприимчивости (рис. 4, В) [3].

При проведении сопоставления литогеохимических исследований с геофизическими моделями было установлено, что наиболее контрастные аномалии ореолов серебра, свинца, цинка и меди приурочены к метосоматически измененным андезитам (пропилиты и березиты), которые в свою очередь тяготеют к областям с повышенными значениями плотности и намагниченности (классы от 10 до 15).



**Рис. 4. Геофизическая модель участка Аттыквеем**

А – Объемная модель по гравиметрическим данным, Б – по магнитометрическим данным, В – модель сочетания плотностных характеристик и магнитной восприимчивости



**Рис. 5. Геофизическая модель перспективного участка Аттыквеем-4**

*А* – Модель сочетания плотностных характеристик и намагниченности с наложенной геологической картой и комплексной геохимической аномалией, *Б* – комплексная геофизическая модель (ранги отображения 12–15) с наложенной комплексной геохимической аномалией

Благодаря данным выводам, можно предположить, что оруденение, имеющее видимое распределение на глубину до 200 м (по полевым наблюдениям) может иметь более глубокую зону развития, вплоть до 600–800 м (рис. 5, *А, Б*).

Таким образом, основываясь на результатах изучения петрографического и геохимического состава пород, а также опираясь на геофизические построения, можно предполагать, что зона распространения метасоматитов может достигать глубин 800 м. Основываясь на этом, в пределах Аттыквеемского потенциального рудного узла выделены локальные перспективные площади ранга потенциального рудного поля. Дополнительно были рассчитаны авторские прогнозные ресурсы для данной территории с использованием подвески (глубины) 600 м.

Дальнейшие работы требуют более серьезных финансовых вложений для проведения площадных геофизических работ и заверочного бурения. На наш взгляд, площадь подготовлена для проведения стадии поисково-оценочных работ.

### Литература

1. Аэрорадиогеохимическое картирование : Методические рекомендации /А. И. Краснов, Е. Б. Высокоостровская, Е. И. Зубов и др. – Л. : НПО Рудгеофизика, 1983. – 104 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист R-58 – Билибино. Объяснительная записка. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2001.
3. Ссылка на документацию к программам Mag3d и Grav3d, разработанные в университете «British Columbia». – Ванкувер, Канада. – URL: <https://gifttoolscookbook.readthedocs.io/en/latest/index.html> (дата обращения 25.09.2024).

## ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ МАГНИТНОЙ СЪЕМКИ (НМС) ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НАЗЕМНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ. ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НМС ПРИ ПОИСКАХ ПОЛИГЕННОГО УРАНОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ТИПА НЕСОГЛАСИЯ

А. Ф. Лазарев

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Норильский филиал, Норильск, Anton\_Lazarev@karpinskyinstitute.ru*

Основное направление работ Норильского филиала ФГБУ «Институт Карпинского» – проведение комплексных аэрогеофизических работ с последующей заверкой наземными геолого-геофизическими методами перспективных участков. Филиал решает прогнозно-поисковые задачи на широкий спектр твердых полезных ископаемых (золото, платиноиды, медь, уран, алмазы и др.).

В 2022 г. Норильским филиалом выполнена комплексная аэрогеофизическая (аэромагнитная, аэроэлектроразведочная и аэрогамма-спектрометрическая) съемка масштаба 1 : 50 000 в пределах листов R-49-III,IV,IX,X (Попигайская площадь). По результатам интерпретации полученных материалов в юго-восточной части Попигайской площади, в пределах структурно-стратиграфического несогласия (ССН), был выделен участок площадью 28,9 км<sup>2</sup>, перспективный на обнаружение полигенного уранового оруденения «типа несогласия» с богатыми комплексными рудами. В полевой сезон 2023 г. были выполнены наземные геолого-геофизические работы в масштабе 1 : 25 000 по заверке участка. Комплекс геолого-геофизических работ включал гамма-спектрометрию, электротомографию, магниторазведку и геологическое опробование с радиометрическим сопровождением.

В процессе полевых работ были проведены исследования по внедрению непрерывной магнитной съемки в практику работ филиала с применением магнитометров Minimag.

Методический подход к процессу внедрения, а также результаты исследований рассматриваются в настоящей работе.

**Оценка применимости совместного использования магнитометра и двухчастотного навигационного приемника.** Под непрерывной магнитной съемкой мы понимаем регистрацию аномального магнитного поля с циклом 0,5 Гц (одно измерение в 2 с), что соответствует 1,0–1,5 м по профилю.

Такая высокая плотность наблюдения дает существенный прирост геофизической информации, позволяет выделять небольшие по размеру объекты (первые метры): дайки и жилы, апофизы рудных тел, проследить зоны тектонических нарушений, выявить зоны слабомагнитных интрузий, локализовать зоны метасоматических изменений, а также более качественно выполнять геомагнитное моделирование на этапе интерпретации.

В процессе исследований решались следующие задачи.

1. Минимизировать ошибку регистрации поля в условиях движения оператора по пересеченной местности.

2. Обеспечить геодезическую привязку точек наблюдения с высокой точностью. Определение координат должно быть на порядок выше расстояния между точками наблюдений (1,0–1,5 м).

3. Определить способ оценки точности съемки по повторным маршрутам, при отсутствии пикетов и предварительно вынесенной на местность сети профилей.

Согласно устоявшейся практике работ, оценка надежности регистрации поля выполняется по двум параметрам: данным метрологической поверки аппаратуры на эталонном объекте и по повторным маршрутам или пикетам в поле.

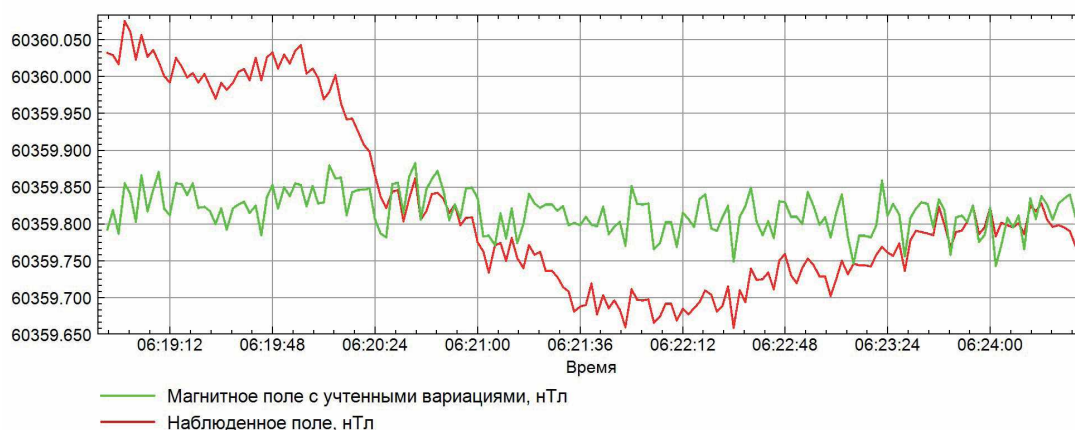
Непрерывная магнитометрическая съемка подразумевает выполнение работ без установки пикетов или иных меток на местности. Для выполнения корректной оценки по повторным маршрутам необходимо обеспечить высокую точность определения положения прибора в момент регистрации магнитного поля.

На подготовительном этапе работ с протонным магнитометром Minimag были выполнены рекогносцировочные маршруты, по результатам которых было установлено, что штатный ГНСС-приемник магнитометра, установленный в блоке управления магнитометром, не обеспечивает должной точности привязки. Записанный трек представлял собой пилообразную кривую с отклонениями на 5–10 м. Такой трек свидетельствовал о низкой точности позиционирования штатного ГНСС-приемника и не позволял выполнить требования технического задания по точности съемки. Поэтому исполнителями решалась задача интегрирования двухчастотного навигационного приемника с целью повышения точности привязки магнитных наблюдений.

Установка навигационного приемника была выполнена в районе нижней части балки (штанги) магнитометра, рядом с аккумуляторным блоком (рис. 1). Данное положение максимально удалено от магнитометрического датчика. Несмотря на это, была выполнена проверка степени влияния ГНСС-приемника на измерения магнитометра с целью оценки возможности выполнения работ в такой конфигурации. В результате был поставлен эксперимент.



**Рис. 1. Положение навигационного приемника Geobox ForaLux на поясе оператора в процессе съемки**



**Рис. 2. График регистрации магнитного поля (без внешнего ГНСС-приемника)**

Магнитометр был закреплен в статичном положении, на дереве, на высоте, соответствующей той, на которой находится магнитометр при его переноске оператором в ходе выполнения магниторазведочных работ. Магнитометр осуществлял запись магнитного поля в автоматическом режиме с одним измерением в 2 с (0,5 Гц). Весь этот период сопровождался регистрацией геомагнитных вариаций. Первый этап эксперимента представлял собой запись магнитного поля в течение 2400 с в условиях отсутствия помех. Далее вводилась поправка за вариации, чтобы оценить стабильность работы прибора и разброс наблюдаемых значений (рис. 2) Стандартное отклонение составило 0.03 нТл, максимальные и минимальные значения соответственно 60359.88 нТл и 60359.82нТл.

Вторая часть эксперимента состояла в том, что включенный ГНСС-приемник перемещался из состояния максимальной удаленности от прибора, где влияние его на датчик исключено, в положение места предполагаемого крепления (на поясе оператора) с шагом 0,5 м, сохраняя постоянную высоту вешкой (рис. 3). На каждом таком пикете оператор останавливался на 60–70 с, в то время как магнитометр на дереве записывал значения магнитного поля каждые 2 с. Результаты измерений магнитного поля при разном положении ГНСС приемника представлены на рис 4.



Рис. 3. Эксперимент с приближением навигационного приемника к магнитометру

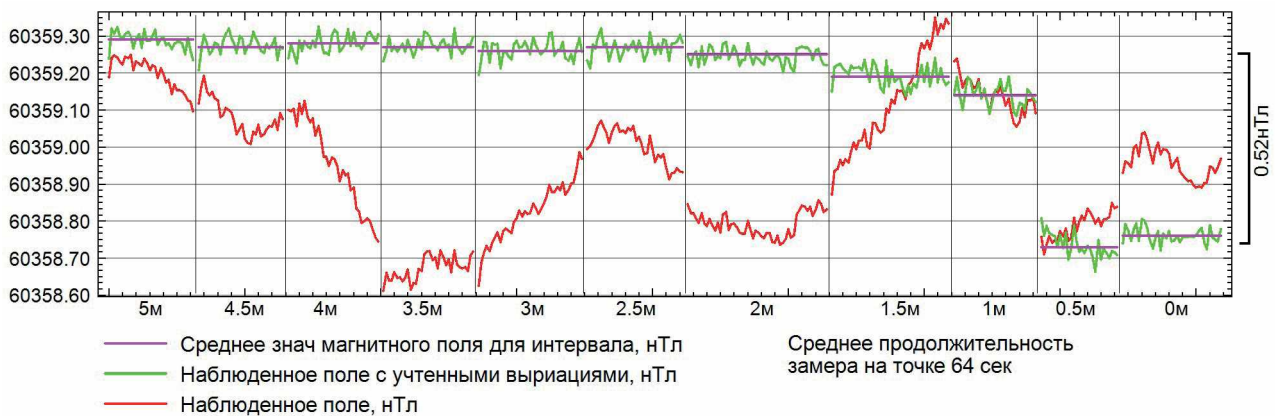


Рис. 4. Графики изменений значений магнитного поля при приближении навигационного приемника к месту крепления на поясе

Из графика видно, что магнитометр «чувствует» приближение навигационного приемника с расстояния 1,5 м небольшим понижением магнитного поля: около 0,1–0,15 нТл. На расстоянии 0,5 м происходит скачкообразное изменение поля. Однако амплитуда этого изменения составляет всего 0,52 нТл. При требованиях к точности съемки порядка 5 нТл по результатам этого эксперимента был сделан вывод, что ГНСС-приемник Geobox Fora Lux в конфигурации установки его на поясе оператора, может применяться для выполнения непрерывной магнитометрической съемки.

Следующим шагом стала оценка точности регистрации геодезических данных путем проведения измерений на контрольном пункте с установленной базовой навигационной станцией и последующей постобработкой в режиме РТК. Измерения выполнялись непрерывной записью с циклом 1 Гц в течение 3 час. Полевая точность плановой привязки точек наблюдения магниторазведки рассчитана по формуле (1) и составила  $\pm 0,0371$  м (3,7 см).

$$\sigma = \pm \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1)$$



где  $x, y$  – максимальное отклонение от среднего (медианного) значения. По результатам данных наблюдений был сделан вывод, что запись положения магнитометра в пространстве осуществляется с сантиметровой точностью, что на порядок превышает расстояния между точками съемки (условными пикетами) в процессе перемещения оператора.

Таким образом, комплексирование магнитометра и навигационного приемника позволило выполнять съемку в автоматическом режиме с высокой точностью геодезической привязки, а влияние навигационного приемника на измерения оказалось незначительным. Поэтому такая конфигурация оборудования позволила перейти к отработке методики съемки по повторным маршрутам, о чем будет сказано ниже.

**Оценка точности съемки комплектом аппаратуры.** Для оценки корректности работы магнитометров в ходе проведения полевых работ выполнялись ежедневные измерения на контрольном маршруте. Данный принцип был взят по аналогии с аэрогеофизической съемкой, где стабильность работы аппаратуры контролируется на небольшом отрезке пути (контрольном маршруте) перед и по окончании съемочного вылета.

Контрольный наземный маршрут представлял собой 100-метровый прямой профиль вблизи лагеря, вдоль которого был натянут шнур. Маршрут располагался в спокойном, не аномальном поле. Изменение поля вдоль профиля не превышало 50 нТл. Оператор магнитометра осуществлял движение в прямом и обратном направлениях перед и после съемочного маршрута. Повторяющиеся форма и значение графиков, после ввода вариаций, позволяли говорить о корректности работы аппаратуры в течение сезона.

Расчет точности съемки (среднеквадратической погрешности) осуществлялся в программе Calc-of-Assigasy 2.0, разработанной специалистами филиала из летного отряда. Принцип расчета заключался в следующем.

Исходными данными служили координаты  $X, Y$ , высота  $Z$  и значение магнитного поля с введенными вариациями. Программа брала точку на рядовом маршруте и в заданном радиусе, в нашем случае 1 м, искала ближайшую точку, попадающую в этот радиус. Если условие выполнялось, значения разности магнитного поля между точками использовалось для расчета среднеквадратической погрешности. Если точек попадало несколько, бралась та, которая имела наименьшее отклонение. Никакие процедуры интерполяции и пересчетов поля не проводились.

Формула для расчета погрешности:

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{\sum_i^n (C_1 - C_2)^2}{2n}}, \quad (2)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – зарегистрированные значения магнитного поля на рядовом и повторном маршрутах,  $n$  – количество точек измерений (Инструкция по магниторазведке).

Итоговые значения точности по контрольному маршруту составили 1,85 нТл.

Вторым вариантом оценки точности съемки являются повторные измерения на родовых маршрутах. Обязательным условием выполнения таких работ аэрогеофизической съемки является съемка при градиентах поля до 100 нТл/км. Данное требование обосновано тем, что даже при небольшом смещении воздушного судна, вдобавок к статистической ошибке геодезической привязки, можно получить существенные расхождения значений рядовых и повторных маршрутов. При градиенте до 100 нТл/км рядовые и повторные измерения имеют хорошую сходимость.

В ходе проведения наземных полевых работ 2023 г. была проведена оценка точности в зависимости от уровня градиента на маршруте в целом. Результаты представлены в таблице и на графиках (рис. 5).

Полученные графики имеют высокую сходимость. Расхождения становятся заметны на повторных маршрутах № 12.1 и № 12.2, где градиент поля составляет более 400 нТл/км.

## Погрешность измерений магнитометрической съемки

Маршрут			Дата	Прибор	Значение магнитного поля, нТл				Количество общ. точек	Расстояние между точками	Средне-квадрат. отклонение, нТл
					мин	макс	средн.	Градиент, нТл/км			
№	Вид	Длина, м									
L0	ряд.	1355	02.08.23	202008	60 564	60673	60619	104	543	1–5 м	1,181
P0	повт.	1333	05.08.23	212003							
L28	ряд.	631	12.08.23	212003	60 411	60531	60476	120	239	1–7 м	1,321
P28	повт.	654	12.08.23	202008							
L9	ряд.	1328	27.07.23	21022	60 343	60682	60468	335	525	1–5 м	2,463
P9	повт.	1376	06.08.23	202008							
L29	ряд.	842	12.08.23	202008	60 336	60630	60452	294	319	1–5 м	2,941
P29	повт.	848	12.08.23	212003							
L12.2	ряд.	381	07.08.23	212003	60 278	60717	60532	439	167	1–6 м	3,708
P12.2	повт.	365	13.08.23	202008							
L12.1	ряд.	545	07.08.23	212003	60 335	60773	60526	438	235	1–8 м	6,425
P12.1	повт.	529	13.08.23	202008							

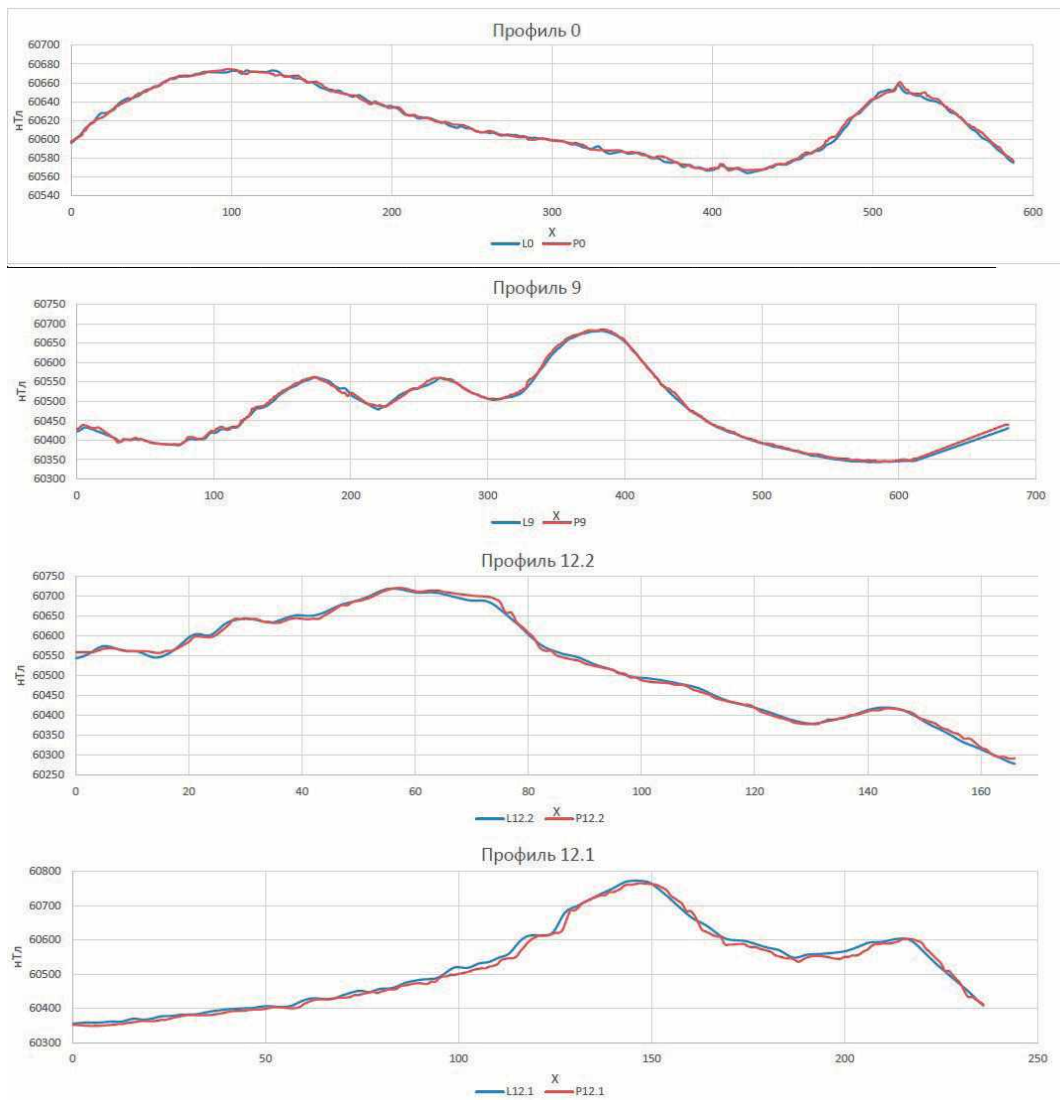


Рис. 5. Графики сопоставления рядовых и повторных маршрутов магнитометрической съемки

Наилучшие результаты сходимости графиков наблюдаются при градиенте менее 100 нТл/км. В условиях высокоточной геодезической привязки результатов измерений удалось получить значения среднеквадратической погрешности менее 5нТл, что соответствует техническому заданию.

Результаты проведенных методических исследований, представленных выше, позволили сделать заключение о возможности и целесообразности введения в регулярную практику работ двухчастотного навигационного приемника в комплексе с пешеходными магнитометрами Minimag.

Результаты непрерывной магнитной съемки на уч. Восточный в полевой сезон 2023 г. на Попигайской площади позволили выделить серию небольших по простиранию (20–25 м), но контрастных аномалий (100–900 нТл) (рис. 6). Проследить данные аномалии в режиме съемки по пикетам было бы невозможно, даже при съемочном шаге в 20 м, данная аномалия либо будет пропущена, либо забракована как сбойное значение.

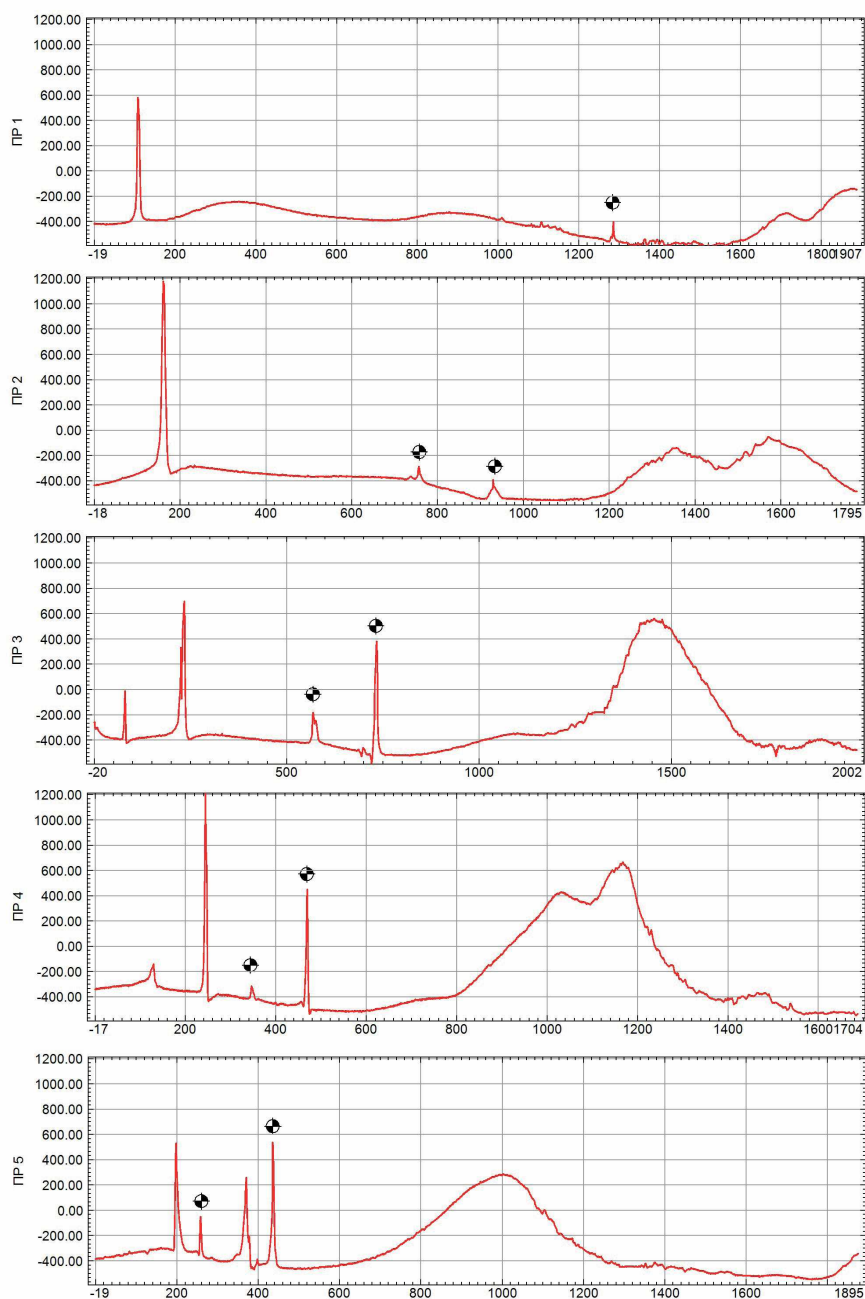


Рис. 6. Графики аномального магнитного поля и локальные аномалии, соответствующие дайковому комплексу

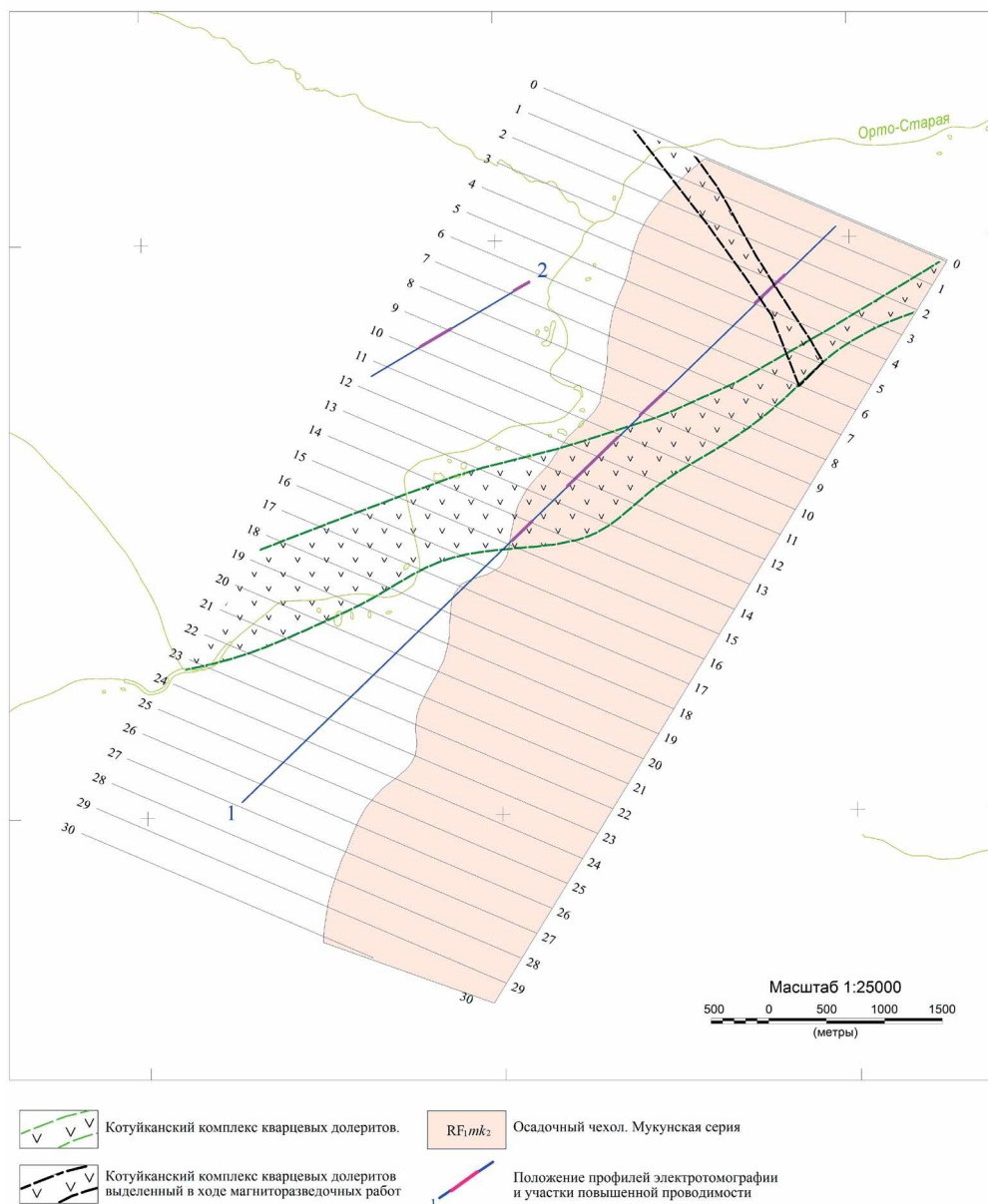


Рис. 7. Положение рудоконтролирующих дайковых комплексов на участке работ

Выявленная серия аномалий, прослеживаемая на 5 профилях, позволила обнаружить дайку кварцевых долеритов **котуйканского** комплекса, который является контролирующим гидротермальную минерализацию и является рудоконтролирующей структурой на уран типа несогласия (рис. 7).

Впоследствии электроразведочными работами (методом электромографии) было подтверждено плановое положение этой дайки, которая маркирует зону проводимости, выделенную по материалам аэрогеофизической съемки, что повышает достоверность ее планового положения.

Таким образом, проведенные исследования позволили решить ряд задач.

1. Разработать методику пешеходной магнитной съемки с применением протонного магнитометра в комплексе с двухчастотным ГНСС-приемником – Geobox Fora Lux.

2. Выполнить весь объем полевых магнитометрических работ с высоким качеством регистрации магнитного поля и геодезической привязки материалов съемки.

3. Локализовать маломощные геологические объекты, которые при дискретном (пикетном) варианте съемки с высокой долей вероятности могли быть пропущены.

4. Внедрить в практику работ Норильского филиала современный магнитометрический комплекс с двухчастотным ГНСС-приемником.

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПО АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ НА СЕВЕРНОМ ФЛАНГЕ БАЛЫГЫЧАНО-СУГОЙСКОГО ПРОГИБА

Р. А. Леденгский

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Норильский филиал,  
Норильск, Roman\_Ledengskiy@karpinskyinstitute.ru*

Актуальность прогнозирования минерального сырья по аэрогеофизическим материалам обусловлена высоким уровнем производительности съемки с покрытием больших площадей в отдаленных районах и ускорением процесса обнаружения скрытого и погребенного оруденения в сложных горно-геологических условиях. В результате прогнозирования определяются рудоконтролирующие и рудолокализирующие особенности геофизических полей и выделяются перспективные участки с рекомендацией проведения комплекса поисковых работ, включающего наземные геолого-геофизические работы.

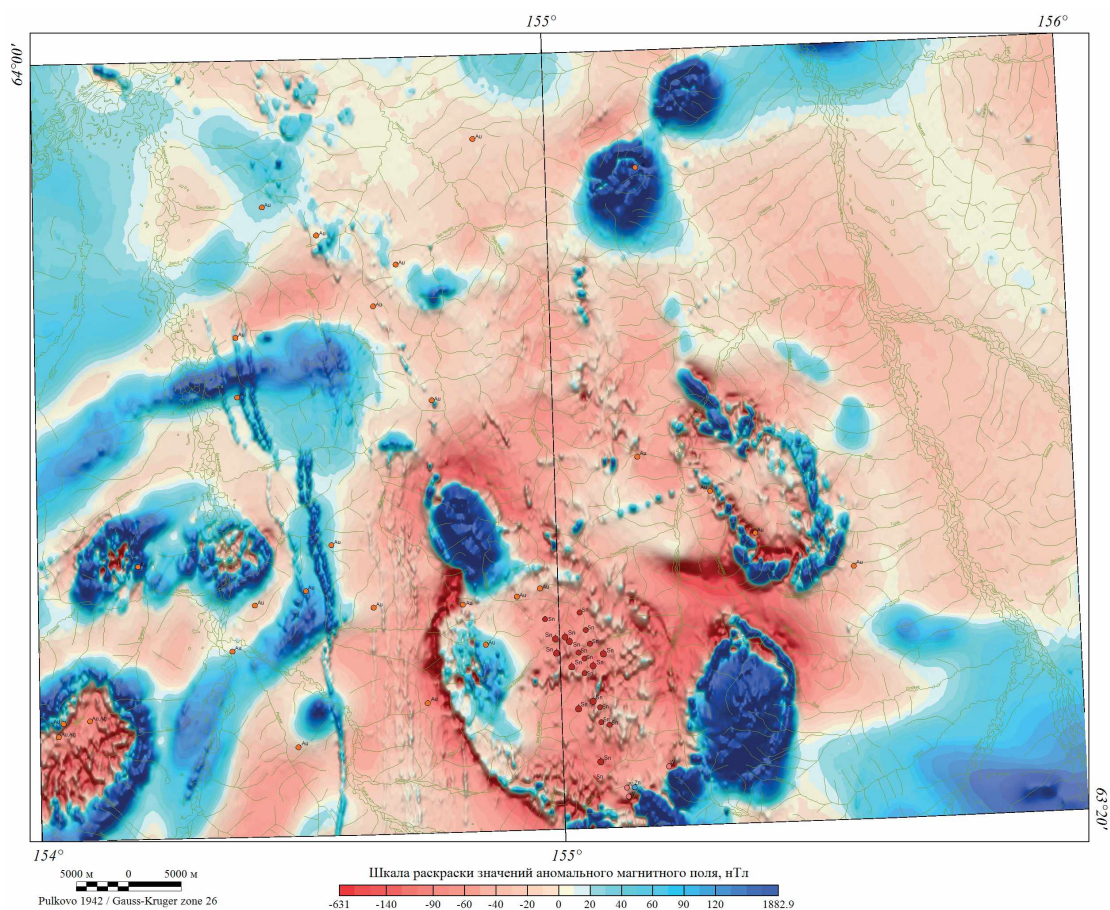
Повышение эффективности прогнозирования оруденения, по аэрогеофизическим данным, может быть достигнуто применением современных аппаратурно-технических и научно-методических разработок при выполнении съемки, внедрением новых технологий и программных решений при обработке и комплексной интерпретации геофизических материалов совместно с геолого-геохимическими данными, а также разработкой и адаптацией методик к конкретным геологическим условиям и типам оруденения.

Целью исследования является разработка методики прогнозирования золото-серебряного оруденения по материалам комплексной аэрогеофизической (аэромагнитной, аэрогамма-спектрометрической) съемки масштаба 1 : 50 000 [6], выполненной Норильским филиалом, в северной части Балыгычано-Сугойского прогиба (Балыгычанская площадь) – уникальной структуре по насыщенности золото-серебряными и оловянными месторождениями (рис. 1) [5; 11]. Прогиб выполнен меловыми вулканогенно-осадочными отложениями, заложен по Омсукчанскому глубинному разлому фундамента складчатой системы и насыщен многочисленными гранитоидными телами. На территории площади в составе северного фланга прогиба выделяются Светлинская впадина в его южной части и Нягаинская впадина на севере, разделенные Глинистым разломом [3; 4; 8; 9].

Полученная современная геофизическая основа, выполненная в рамках геологического доизучения площадей (ГДП-200), способствовала решению задач геологического картирования и прогноза оруденения различных типов, что в дальнейшем позволило повысить качество ГК-200/2 [9].

Комплексная интерпретация полученных геофизических полей и их трансформаций позволила достаточно уверенно картировать гранитоидные массивы с уточнением контуров распространения известных и выделением невоскритых интрузивов. Интрузивы, в том числе и невоскритые, были разделены по геофизическим данным и классифицированы на различные комплексы среднего и кислого составов: диорит-гранодиоритовый басугуньинский (Громадинский и Нижненский массивы), габбро-гранитовый наяханский (Гурзуф, Нарзан, Нягаинский, Кобзарь, Шермен, Светлинский) и лейкогранитовый омсукчанский (Егорлыкский, Марат) (рис. 1). Кроме того, были выделены контактово-измененные ореолы ороговикованных пород, обрамляющие интрузивные массивы, а также серии даек, малых интрузий и тел различных гипабиссальных комплексов.

С целью уточнения характера пространственного распределения естественных радиоактивных элементов была построена сводная радиогеохимическая карта путем вычисления надфоновых содержаний урана, тория и калия и последующей классификации территории по уровню их избытка или дефицита. В результате была уточнена специализация интрузивных массивов различных комплексов с разделением на фациальные разности и откартированы вулканические комплексы кислого состава.



**Рис. 1. Рудоконтролирующие факторы на карте аномального магнитного поля**

Обозначения интрузивных массивов: Г – Гурзуф, Н – Нарзан, Ни – Нижненский, Ня – Нягаинский, М – Марат, Гр – Громадинский, Е – Егорлыкский, К – Кобзарь, Ш – Шермен, С – Светлинский

Минерагеническая специализация исследуемой площади представлена золото-серебряной и золото-редкометалльной формациями в пределах Сеймчанской кобальт-серебро-золото-оловорудной минерагенической зоны с Громадинским золото-сереборудным узлом и северную часть Балыгычано-Сугойской олово-золото-сереборудной зоны с Егорлыкским оловорудным и потенциальным Светлинским вольфрам-сереборудным узлами [9].

На основании анализа геолого-геофизической информации, рудоконтролирующих и рудо-локализирующих факторов и статистических данных эталонных объектов разработана система прогнозирования золотого оруденения. Главными факторами являются тектонические и магматические. В аномальном магнитном поле и поле силы тяжести проявлены преимущественно признаки рудоконтролирующего характера (рис. 1).

С магматическим тесно связан рудо-локализирующий метасоматический фактор. Данные гамма-спектрометрии и вторичную радиогеохимическую зональность можно рассматривать в качестве геофизических признаков рудо-локализирующих факторов. Вторичная радиогеохимическая зональность, построенная путем вычисления уже вторичных надфоновых содержаний естественных радиоактивных элементов, позволяет выявить слабоконтрастные нарушения в естественном равновесии элементов, связанные с эпигенетическими изменениями горных пород и интенсивными гидротермально-метасоматическими минерализованными зонами с уран-калиевой специализацией (рис. 2).

Дальнейшее прогнозирование объектов по аэрогеофизическим данным проводилось методом эталонной классификации на основе алгоритма распознавания образов по технологии Норильского филиала [6]. В качестве эталонов использовались известные месторождения Лунное [7] и Громада [1; 2].

В результате были получены изолинии вероятности статистического соответствия (коэффициента подобия) геофизических полей территории структуре геофизического поля на эталонных месторождениях (рис. 2).

Последующее оконтуривание прогнозных участков каждой рудной формации является оценкой перспектив территории с привлечением априорных геологических данных. В результате выделены участки, перспективные на обнаружение золото-серебряного и золото-редкометалльного оруденений, суммарная площадь которых составляет 2 % от всей территории исследования (рис. 2).

На участках рекомендуется проведение комплекса наземных геолого-геофизических работ 1 : 25 000 масштаба в площадном варианте, включающего магниторазведку, электроразведку методом вызванной поляризации (ВП), гамма-спектрометрию и геологические маршруты с литохимическим опробованием.

Для проверки обоснованности прогнозных построений на выделенном перспективном участке Шермен силами Норильского филиала выполнен комплекс наземных геофизических работ масштаба 1 : 25 000, содержащий магниторазведку, электроразведку методом ВП и гамма-спектрометрию [10]. Работы проходили при сотрудничестве с геологами Балыгычанской партии, которые осуществляли здесь геологическую и геохимическую съемки в рамках ГДП-200 [9].

В результате работ были уточнены контуры диорит-гранодиоритового массива Шермен наяханского комплекса, установлены тектонические нарушения, зоны контактово- и гидротермально-метасоматических изменений. По локальным и площадным высокоинтенсивным аномалиям вызванной поляризации устанавливаются сульфидизированные зоны, для которых характерна метасоматическая зональность со сменой с калиевой доминанты на калий-урановую и урановую. Также необходимо отметить, что в северо-восточной части участка главным геологом Балыгычанской партии установлено рудопроявление серебро-полиметаллической формации, представленное коренным выходом интенсивно измененных диоритов наяханского комплекса [9].

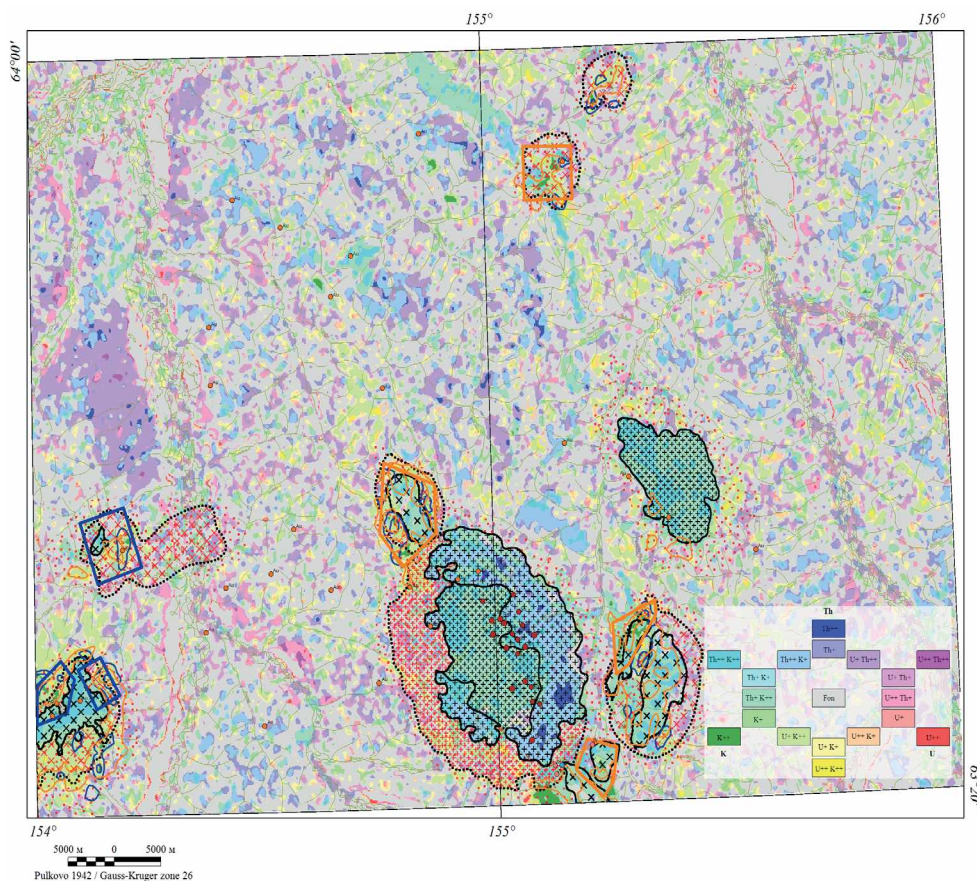


Рис. 2. Схема прогноза оруденения золото-серебряной и золото-редкометалльной формаций

В итоге по геолого-геофизическим данным выделен прогнозный участок, где рекомендуется проведение литохимического опробования по первичным ореолам рассеяния и открытые горные работы.

Таким образом, в результате исследования решены задачи, позволившие более глубоко и качественно изучить геологическое строение территории и объективно прогнозировать золото-серебряное и золото-редкометалльное оруденения с выделением перспективных участков и рекомендацией проведения на них поисковых работ. Один из участков был завершен и подтверждена перспективность его дальнейшего изучения.

### Литература

1. Бондарчук Д. П., Шилов А. С., Шилова Е. В. и др. Отчет о работе Громадинской геологосъемочно-поисковой партии масштаба 1 : 50 000 за 1971 год., пос. Сеймчан, 1972.
2. Гусаров Б. М. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Серия Среднеколымская. Лист Р56-IV. Объяснительная записка. – М. : Мингео СССР, 1983.
3. Кузнецов В. М. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Лист Р-56-V. Объяснительная записка. – М., 1982. – 82 с.
4. Кузнецов В. М., Жигалов С. В., Ведерникова Т. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-56 – Сеймчан. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008.
5. Кузнецов В. М., Ливач А. Э. Строение и металлогеническое районирование Балыгычано-Сугойского прогиба // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2005. – С. 156–177.
6. Лазарев Ф. Д. Комплексная аэрогеофизическая (аэромагнитная, аэрогамма-спектрометрическая) съемка масштаба 1 : 50 000 листов Р-56-V,VI (Балыгычанская площадь). Отчет о результатах работ. Норильск, 2017.
7. Ливач А. Э. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 200 000. Серия Сугойская. Лист Р-56-XII (издание второе). Объяснительная записка. – СПб., 2000.
8. Львов К. Л. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 200 000. Лист Р-56-VI. Объяснительная записка. – М., 1985. – 100 с.
9. Петров С. Ю. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 200 000. Серия Сугойская. Листы Р-56-V,VI (издание второе). Объяснительная записка. – СПб., 2022.
10. Полтавцев А. В. Наземные геофизические работы (магниторазведка, электроразведка, гамма-спектрометрия) масштаба 1 : 25 000 на участке Шермен в пределах листов Р-56-V,VI (Балыгычанская площадь). Отчет о результатах работ. Норильск, 2020.
11. Стружков С. Ф., Константинов М. М. Металлогения золота и серебра Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. – М. : Научный мир, 2005. – 320 с.

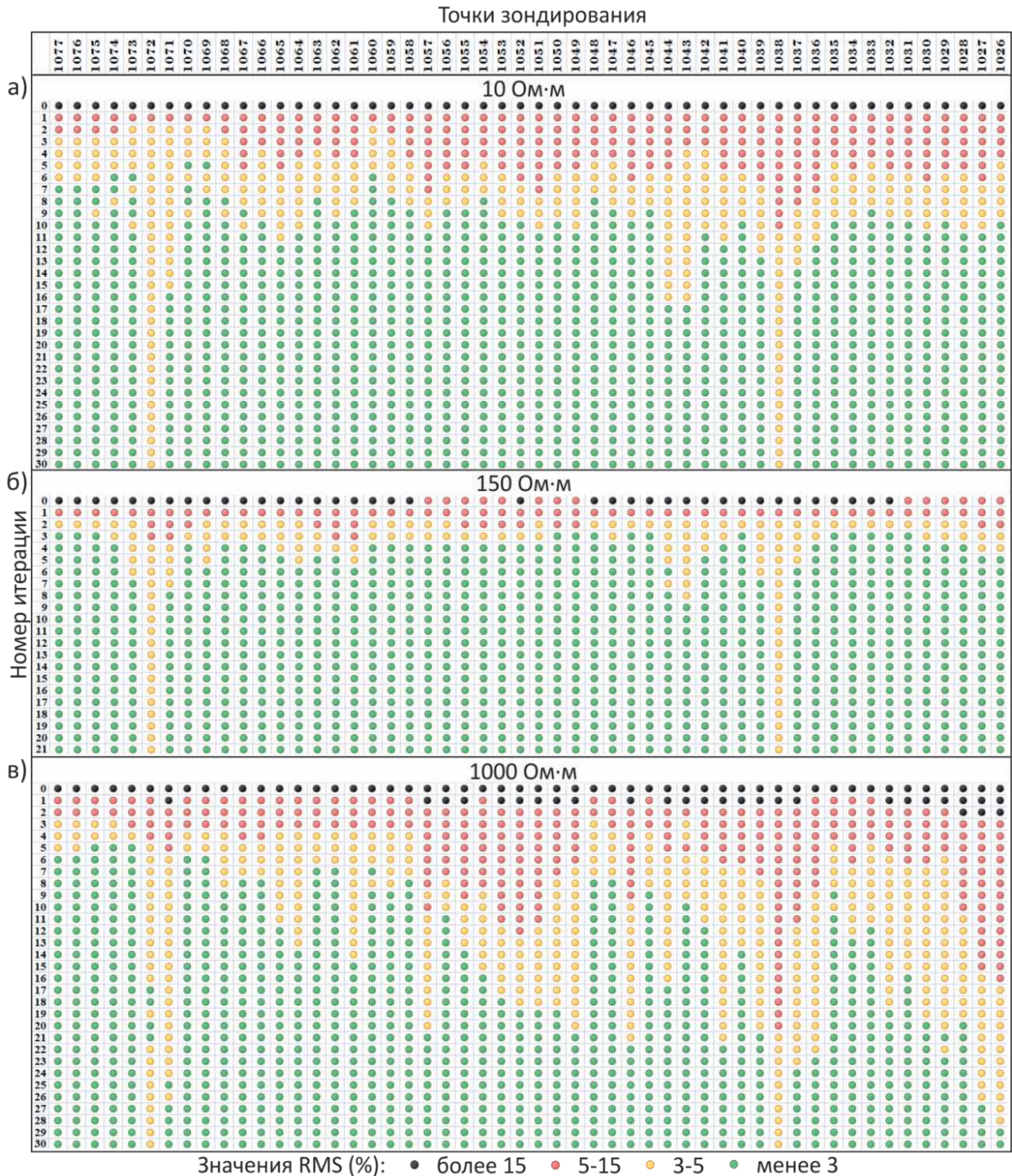
## К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОДНОРОДНОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА СТАРТОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ 2D ИНВЕРСИИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

А. Н. Наумова, Т. В. Давыдкина, А. А. Янкилевич

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, [naumova\\_an@pers.spmi.ru](mailto:naumova_an@pers.spmi.ru)

**Введение.** При двумерной инверсии магнитотеллурических данных получают множество эквивалентных моделей – распределений сопротивлений вдоль исследуемого профиля, где ошибка подбора не превышает заданного значения. Важным фактором для получения корректного решения является правильно заданная стартовая модель, в качестве которой могут служить результаты одномерной инверсии, слоистая модель, заданная с учетом априорной информации [2; 4], а также однородное полупространство (ОПП). При исследовании осадочного чехла априорной информацией могут служить результаты сейсморазведки, возможности которой ограничены при изучении кристаллического фундамента [5], поэтому часто в качестве стартовой модели используется однородное полупространство. В случае ОПП выбор начального сопротивления влияет на конечный результат и корректность решения обратной





Диаграммы изменения RMS для значений сопротивления  
ОПП стартовой модели: 10 Ом·м (а), 150 Ом·м (б), 1000 Ом·м (в)

задачи. Предлагается использовать скорость изменения ошибки подбора на старте инверсии совместно с анализом полученного геоэлектрического разреза при определении значения начального сопротивления.

**Методика.** Выбор начального сопротивления ОПП описан на примере данных, полученных при проведении профильных магнитотеллурических работ в Енисей-Хатангском прогибе. Исследования были направлены на изучение осадочного чехла, однако полученные МТ кривые позволяют получить сведения и о строении фундамента. Анализ размерности геоэлектри-

ческой среды, который проводился с помощью параметров неоднородности, полярных диаграмм тензора импеданса и фазового тензора [1] показал, что использование двумерной инверсии для решения обратной задачи обосновано. Инверсия проводилась в программе MT-2D Tools компании ООО «Северо-Запад» (г. Москва).

В качестве стартовых были использованы различные варианты горизонтально-слоистых моделей, однако результат инверсии получался грубым и с высокой ошибкой подбора RMS\*. В связи с этим было принято решение запускать процесс инверсии с однородного полупространства. Задавались более 10 вариантов значений сопротивления ОПП, построены и проанализированы предварительные геоэлектрические разрезы. Выделены критерии для определения значения удельного электрического сопротивления (УЭС) ОПП: отсутствие ложных высококонтрастных объектов (на основании априорной геологической информации) и скорость уменьшения ошибки подбора.

**Обсуждение результатов.** В данной работе приведены результаты для значений сопротивления: 10, 150 и 1000 Ом·м (рисунок). Анализ предварительных геоэлектрических разрезов, показал, что при начальном сопротивлении 1000 Ом·м отмечаются высококонтрастные объекты, которых нет в других случаях.

Построены диаграммы изменения ошибки подбора в зависимости от сопротивления стартовой модели инверсии. Видно, что скорость ошибки подбора минимальная при сопротивлении 150 Ом·м.

В соответствии с выделенными критериями, для выбранного профиля оптимальным сопротивлением однородного полупространства является 150 Ом·м.

При выявлении точек зондирования с нетипичным снижением RMS до граничного значения к концу процесса инверсии рекомендуется вернуться к этапу обработки и редактирования кривых. Отмечено, что при оптимальном выборе УЭС ОПП уменьшается время расчета инверсии за счет снижения количества итераций, необходимых для достижения заданной ошибки подбора.

**Заключение.** Рассмотренный способ выбора удельного электрического сопротивления ОПП позволяет задать сопротивление стартовой модели для более корректного решения обратной задачи; обнаружить кривые с некачественной редакцией; уменьшить время процесса инверсии.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания FSRRW-2023-0002 «Фундаментальные междисциплинарные исследования недр Земли и процессов комплексного освоения георесурсов».*

## Литература

1. Бердичевский М. Н. Модели и методы магнитотеллурики / М. Н. Бердичевский, В. И. Дмитриев. – М. : Научный мир, 2009. – 679 с.
2. Ваньян Л. Л. Электромагнитные зондирования. – М. : Научный мир, 1997. – 218 с.
3. Жданов М. С. Геофизическая электромагнитная теория и методы / Под ред. Е. П. Велихова. – М. : Науч. мир, 2012. – 679 с.
4. Кризский В. Н., Александров П. Н. Об определении удельной электропроводности локального включения кусочно-постоянной изотропной среды // Физика Земли. – 2023. – № 6. – С. 259–268.
5. Телегин А. Н. Возможности сейсморазведки при изучении кристаллического фундамента // Записки Горного института. – 2017. – Т. 223. – С. 30.

---

\* Среднеквадратичная погрешность, которая определяет различие между модельными и наблюдаемыми данными [3].

# ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (НА ПРИМЕРЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНА ЛА-ЯНА, РЕСПУБЛИКА КУБА)

Д. Л. Устюгов<sup>1</sup>, Э. Л. Ноа Сегура<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург,  
Ustyugov\_DL@pers.spmi.ru; s233146@smud.spmi.ru

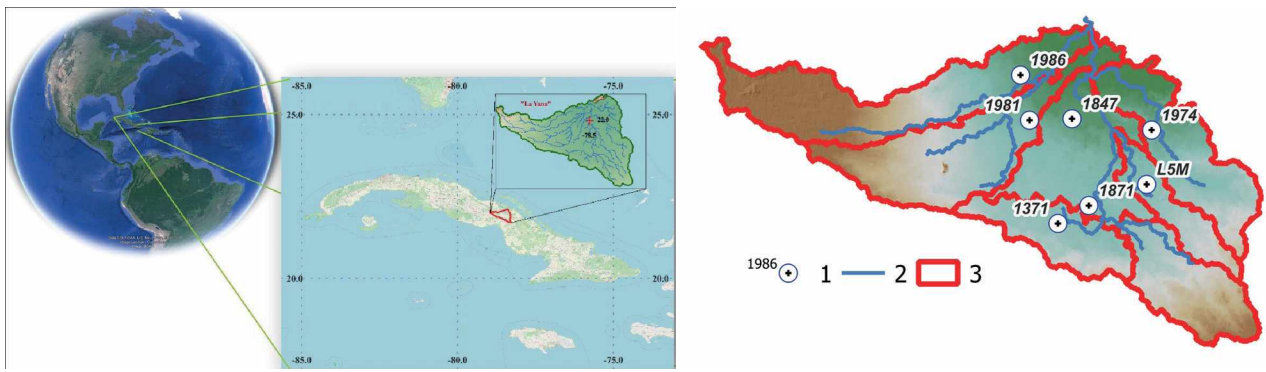
<sup>2</sup>Сьего-де-Авила университет Максимо Гомес Базс (УНИКА),  
Сьего-де-Авила, Куба, hectorlms@unica.cu

**Введение.** На подземные воды приходится около 99 % всего объема жидкой пресной воды Земли [11], поэтому изучение характеристик подземных водоносных горизонтов, особенно их потенциал пополнения, является важным для защиты их от чрезмерного истощения [2]. Подземные воды связаны с тем или иным поверхностным водосбором [1], а генезис инфильтрации – с поверхностными процессами [6]. Моделирование водного баланса в ненасыщенной зоне над уровнем грунтовых вод [12] позволяет установить взаимосвязь между пополнением подземных вод и балансом поверхностных вод [4; 5; 14]. Оценка инфильтрационного питания подземных вод и его интенсивности позволяет установить взаимосвязь между пополнением запаса подземных вод и факторами, влияющими на подземный цикл гидрологического круговорота: атмосферными осадками, испарением, транспирацией, местным рельефом, свойствами поверхностного слоя почвы, глубиной залегания грунтовых вод и т. д. [12]. Сложная динамическая система подземных вод еще больше затрудняет задачу прогнозирования уровня грунтовых вод [15]. Следовательно, необходимо изучить продукты дистанционного зондирования Земли, поддерживающие прогнозирование подземных вод в режиме реального времени, и подходы к снижению влияния ошибок продуктов дистанционного зондирования на производительность моделей, основанных на данных [8]. Поэтому целью исследования является прогнозирование ежемесячных изменений уровня грунтовых вод на основе данных дистанционного зондирования Земли в гидрогеологическом бассейне Ла-Яна, Республика Куба.

**Материалы и методы.** Исследование проводилось в районе, расположенном между координатами  $-78,9726; 21,7109$  и  $-78,2826; 22,1112$  в системе координат *EPSG:4326-WGS 84*. Площадь территории – 1280 км<sup>2</sup>, Сьего-де-Авила, Куба (рисунок). Выборка данных состояла из мониторинговых скважин с 12-летними месячными записями (01.2010–12.2022) в сети станций мониторинга Национального института водных ресурсов, как показано на рисунке.

По сравнению с другими геологическими и геофизическими данными материалы дистанционного зондирования с достаточно большим пространственным разрешением захватывают практически всю поверхность суши [10]. Информация об эвапотранспирации ( $ET_{MOD16A2}$ ) была получена из спутникового продукта *MOD16A2 Version 6.1 Evapotranspiration/Latent Heat Flux*, а информация об осадках ( $P_{CHIRPS}$ ) из данных *Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS)*, которые были извлечены из набора данных *Google Earth Engine (GEE)*, где был определен водный баланс поверхности. Пространственная информация была обработана в базе данных 12 суббассейнов и 7 мониторинговых скважин (рисунок) с использованием геоинформационных систем *QGIS Desktop-3.28.9* и *SAGA-9.2.0*.

Статистическая обработка данных проводилась в программе *Orange Data Mining (ODM)*. Для оценки согласованности и однородности серии осадков осуществляли проверку гипотезы с использованием *t*-критерия Стьюдента для дисперсий двух подвыборок. Нулевая гипотеза ( $H_0$ ) и альтернативная гипотеза ( $H_1$ ) сформулированы следующим образом: если рассчитанная *t*-статистика Стьюдента *t* больше ее критического значения  $t_c$  или вероятность меньше уровня значимости  $\alpha$  на 5 %, то принимают решение отвергнуть  $H_0$  и принять  $H_1$  с указанием, что сравниваемые подвыборки различаются статистически. Стационарность и периодичность серий оценивались с помощью коррелограммы и периодограммы, а также степень связи между сериями с помощью коэффициента  $R^2$  Пирсона.



**Схема расположения изученной площади исследования.**  
**Источник: Программное обеспечение QGIS Desktop 3.28.9**

1 – мониторинговые скважины, 2 – дренажная сеть, 3 – границы суббассейнов

Прогностические модели, основанные на методах машинного обучения, получили широкую известность в 2010-х годах благодаря их высокой применимости в среде ГИС, высоким показателям эффективности прогнозирования и способности работать с огромными базами данных, состоящими из сложных переменных [3; 9] *ODM* позволил проводить машинное обучение и разрабатывать прогностические модели на основе имеющихся данных, как в [7].

Баланс поверхностных вод (урав. 1) рассматривался как основной источник пополнения в каждом гидрогеологическом суббассейне, который без значительных внешних потоков и с учетом коэффициента запаса ( $S_s$ ) постоянно вызывает изменение уровня подземных вод ( $dH$ ) во времени ( $dt$ ). Таким образом, мы можем выразить уравнение 2 в линейной причинно-следственной модели как функцию независимых переменных во времени, которые вызывают ( $dH$ ).

$$P_{CHIRPS} - Et_{MOD16A2} = S_s \frac{dH}{dt} \quad (1)$$

$$W(P_{CHIRPS}, Et_{MOD16A2}, dt) = dH \quad (2)$$

Модели машинного обучения были обучены и оценены в соотношении 70 % (01.2010-04.2007) обучения и 30 % (05.2007–12.2022) оценки в *ODM* для функции уравнения 2. Для определения модели с наилучшей точностью прогноза для каждого суббассейна были проанализированы средняя абсолютная ошибка (CAO) (урав. 3), Средняя относительная ошибка (COO) (урав. 4) и корень из среднеквадратичной ошибки (КСО) в соответствии с уравнением 5.

$$CAO = \frac{\sum(Z_{\text{МОД}} - Z_{\text{СКВ}})}{n} \quad CAO = \frac{\sum(Z_{\text{ЦМП}} - Z_{\text{РЕАЛ}})}{n} \quad (3)$$

$$COO = \frac{\sum\left(\frac{Z_{\text{МОД}} - Z_{\text{СКВ}}}{Z_{\text{СКВ}}}\right)}{n} \cdot 100 \quad (4)$$

$$КСО = \sqrt{\frac{\sum((Z_{\text{ЦМП}} - Z_{\text{РЕАЛ}})^2)}{n}} \quad (5)$$

**Обсуждение результатов.** В результате статистического анализа данных была принята гипотеза  $H_0$ , так как сравниваемые подвыборки статистически не различаются. Таким образом, мы смогли проверить однородность и согласованность всех серий. Средний коэффициент корреляции Пирсона  $R^2$  составил 0,2 (Слабо), что свидетельствует об отсутствии линейной

зависимости между изучаемыми рядами и балансом поверхностных вод и возможности приближения к математическому моделированию с использованием методов машинного обучения. Анализ периодограммы и коррелограммы показывает периодичность в среднем 3 месяца, 1 год и 5 лет, при этом годовой цикл является наиболее значимым.

В результате анализа 7 мониторинговых скважин (таблица) было установлено, что наилучшие прогнозы показали модели *GB*, *SVM* и *PLS*. Средняя ошибка КСО составила 0,65 м, что аналогично значениям, полученным в [13; 15], что демонстрирует потенциал сочетания данных дистанционного зондирования с моделями машинного обучения для оценки ресурсов подземных вод.

#### Наилучшая прогностическая модель

Мониторинговые скважины	Модели машинного обучения	САО (м)	СОО (%)	КСО (м)
L5M	Gradient Boosting (GB)	0,58	2,9	0,75
1986	Support Vector Machine (SVM)	0,40	3,6	0,52
1981	Gradient Boosting (GB)	0,41	2,2	0,50
1974	Support Vector Machine (SVM)	0,95	4,8	0,68
1871	Partial Least Squares Regression (PLS)	0,49	2,4	0,63
1847	Support Vector Machine (SVM)	0,66	6,4	0,77
1371	Partial Least Squares Regression (PLS)	0,55	2,6	0,70
<b>Средняя Ценность</b>		<b>0.58</b>	<b>0.036</b>	<b>0.65</b>

**Заключение.** Можно сделать вывод, что в гидрогеологическом бассейне Ла-Яна можно прогнозировать уровень подземных вод в мониторинговых скважинах с общим средним САО 0,58 м, используя данные дистанционного зондирования Земли с платформы *GEE*. На изменение уровня подземных вод в бассейне влияют периодичность и сезонность баланса поверхностных вод. Низкая линейная корреляция между переменными подтверждает физико-математическую сложность процесса трансформации осадков в пополнение подземных вод и изменение уровня подземных вод в водоносном горизонте, и в этом случае модели машинного обучения могут разрабатывать решения и прогнозы с приемлемым уровнем точности. Необходимо улучшить и оптимизировать анализ гидрогеологической модели водосбора для получения более точного прогноза уровня подземных вод.

#### Литература

1. Головина Е. И., Гребнева А. В. Особенности управления ресурсами подземных вод на трансграничных территориях (на примере Калининградской области) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2022. – № 52 (4). – С. 85–94.
2. Alifujiang Y. et al. Changes in intra-annual runoff and its response to climate variability and anthropogenic activity in the Lake Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan // CATENA. – 2021. – Vol. 198. – P. 104974.
3. Arabameri A. et al. Comparison of machine learning models for gully erosion susceptibility mapping // Geoscience Frontiers. – 2020. – No. 5 (11). – P. 1609–1620.
4. Atoui M., Agoubi B. Groundwater flow modeling and recharge estimation of heterogeneous aquifer: Applied to Matmata aquifer, southeastern, Tunisia // Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. – 2024. – Vol. 133. – P. 103513.
5. Guevara-Ochoa C. et al. Impact of rainfed agriculture on spatio-temporal patterns of water balance and the interaction between groundwater and surface water in sub-humid plains // Science of The Total Environment. – 2024. – Vol. 912. – P. 169247.
6. Khaustov V. V., Ustiugov D. L. Formation of drainage waters of Tyrnyauz deposit in ecological aspect // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2017. – No. 4 (87). – P. 042006.
7. Lana J. C. Gully erosion prediction method from geoenvironmental data and supervised machine learning techniques // MethodsX. – 2023. – Vol. 10. – P. 102059.
8. Liu Q. et al. Simulation of regional groundwater levels in arid regions using interpretable machine learning models // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 831. – P. 154902.

9. *Merghadi A. et al.* Machine learning methods for landslide–susceptibility studies: A comparative overview of algorithm performance // *Earth-Science Reviews*. – 2020. – Vol. 207. – P. 103–225.
10. *Movchan I. B., Asyanina V. Y.* Tracing the forecast structural elements while interpretation of remote sensing data within Fresnillo city (Central Mexica) // *Journal of Mining Institute*. – 2014. – Vol. 207. – 195 p.
11. *Naciones Unidas N. U.* Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022: Aguas subterráneas, Hacer visible el recurso invisible / N. U. Naciones Unidas. – Paris : UNESCO, 2022. – 245 c.
12. *Pozdniakov S. P. et al.* Variability in spatial–temporal recharge under the observed and projected climate: A site-specific simulation in the black soil region of Russia // *Journal of Hydrology*. – 2020. – Vol. 590. – P. 125–247.
13. *Singh A. et al.* AutoML-GWL: Automated machine learning model for the prediction of groundwater level // *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. – 2024. – Vol. 127. – P. 107–405.
14. *Xu P. et al.* Estimation of shallow groundwater recharge in central Qinghai-Tibet Plateau by combining unsaturated zone simulation and improved water table fluctuation method // *Journal of Hydrology*. – 2024. – Vol. 630. – P. 130–689.
15. *Zhang Q. et al.* A new real-time groundwater level forecasting strategy: Coupling hybrid data-driven models with remote sensing data // *Journal of Hydrology*. – 2023. – Vol. 625. – P. 129–962.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В БОРЬБЕ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ОКЕАНА ПЛАСТИКОМ

А. С. Данилов, Е. А. Сердюкова

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, serdukovaelizaveta489@gmail.com*

Загрязнение акваторий пластиком сегодня является одной из глобальных экологических проблем человечества. Ежегодно в мировой океан поступает примерно 500 тыс. т пластика [5]. Данный тип загрязнения наносит непоправимый ущерб животным, морским экосистемам и человеку. Основным источником поступления пластиковых отходов в океан являются реки, первопричина чего – неправильное обращение с отходами на суше [1]. Для решения «пластиковой» проблемы необходимо принимать меры как на мировом, так и на региональном уровне.

Направляющим вектором для предотвращения попадания пластика в океан и для очистки уже существующих скоплений пластика служит его обнаружение по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Начиная с 2018 г., иностранными учеными ведется активная работа по сбору данных о местоположении крупных «островов» пластика в океане и на береговых линиях [6], изучены возможности обнаружения экспериментальных пластиковых плотов по снимкам спутника Sentinel-2 [7], протестированы алгоритмы машинного обучения для автоматической классификации снимков, содержащих пластик, а также представлен способ распознавания различных видов пластмасс искусственным интеллектом [4] и множество других исследований. Однако единая методика идентификации данного загрязнения на сегодня не утверждена.

Особенно остро «пластиковый» вопрос стоит в России. Несмотря на значительную роль страны на мировом рынке водных ресурсов, вопросу загрязнения акваторий пластиком практически не уделяется внимание. В связи с этим авторами подробно изучен иностранный опыт и на основе открытых тренировочных данных разработана методика дистанционного обнаружения пластика на поверхности воды (рис. 1). Данная методика в дальнейшем может быть эффективно внедрена на территории РФ.

Выбор программного обеспечения (ПО) при работе с данными ДЗЗ зависит от конечной цели исследования. Апробация данной методики проведена в геоинформационной системе (ГИС) «QGIS», дополнительные модули которой позволяют загружать и обрабатывать космические снимки непосредственно в самой программе. Еще одним преимуществом использования ГИС является возможность подсчета площади загрязнения путем векторизации полученных данных. Для работы только с классификацией снимков с целью тестирования различных алгоритмов машинного обучения использовано ПО «MultiSpec». Программа предоставляет меньший спектр возможностей в сравнении с «QGIS», но не менее эффективна в использовании.



Рис. 1. Основные этапы методики обнаружения пластика по данным ДЗЗ

Сбор и подготовка данных является важнейшим этапом при обнаружении пластика по спутниковым снимкам, без которой невозможна дальнейшая работа. Данный этап предполагает, во-первых, сбор данных о местоположении загрязнения, во-вторых, выгрузку спутниковых снимков на заданную территорию, а при наличии – и аэрофотоснимков с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В России точных данных о местоположении крупных скоплений пластиковых отходов на сегодня нет, поэтому при разработке методики использованы тренировочные архивы данных MARIDA [8] и PLP2019 [9], находящиеся в открытом доступе.

Для идентификации пластикового мусора на снимках на сегодня используются спутниковые данные космического аппарата Sentinel-2. Загрузить космические снимки на выбранную территорию можно через специальные сайты напрямую или через ГИС. Второй вариант более удобен за счет того, что снимки загружаются непосредственно в сам проект. Как правило, снимки доступны пакетом, содержащим панхроматические изображения всех каналов спутника и метафайл с текстовой информацией.

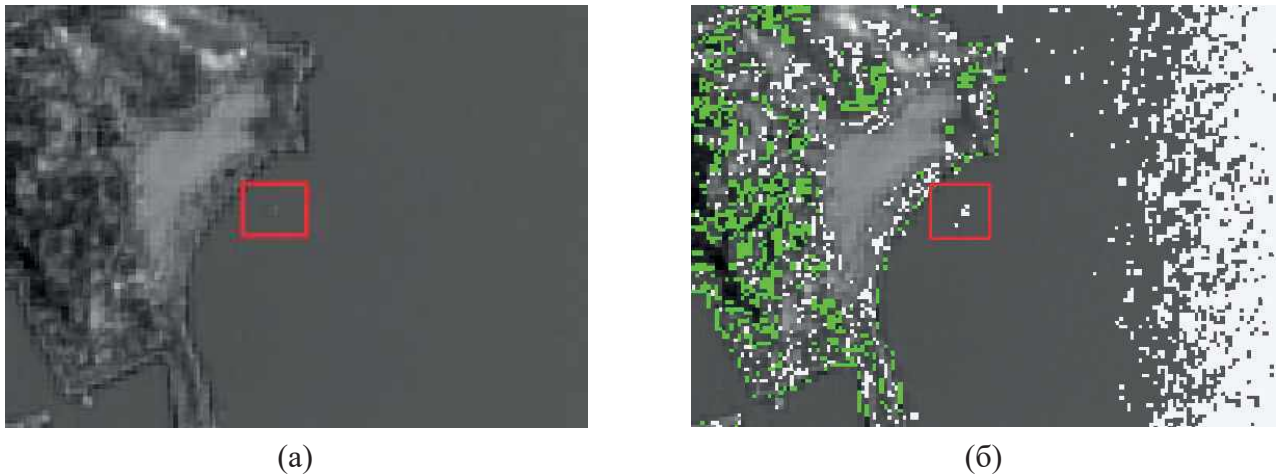
Также на данном этапе может выполняться синтез каналов, если цветной снимок изначально не был загружен, и метод паншарпенинг при работе, например, со снимками Landsat для улучшения их пространственного разрешения.

Предварительная обработка данных включает геометрическую, радиометрическую и атмосферную коррекцию спутниковых снимков для устранения различного рода искажений. Особенное значение имеет атмосферная коррекция, так как облачность и тени от облаков зачастую мешают дешифрированию и снижают качество конечного продукта обработки. Кроме того, на данном этапе специалист улучшает визуальное восприятие снимка, к примеру, через коррекцию яркость–контраст.

Однако даже после предварительной обработки загрязнение невозможно идентифицировать на снимке без тематической обработки. Тематическая обработка космических снимков представляет собой выделение различных объектов путем сопоставления информационных классов (вид растительности, типы горных пород и др.) и их спектральных классов (группа пикселей, обладающих приблизительно одинаковой яркостью). Иными словами, классификация цифрового снимка заключается в группировке пикселей в соответствии с принятым правилом. При этом возможны два подхода: классификация с обучением и классификация без обучения (кластеризация).

В 2020 г. под руководством Л. Бирмана в Плимутской морской лаборатории (Англия) разработан специальный индекс FDI (Floating Debris Index) или Индекс плавающего мусора [2]. FDI основан на ранее известном Индексе плавающих водорослей, созданном для спутника Landsat-8, и рассчитывается по формуле, включающей три диапазона спектра спутника Sentinel-2: ближний инфракрасный NIR, красный RED и коротковолновой инфракрасный SWIR-1.

Прежде чем перейти к процессу классификации как с обучением, так и без обучения перед, специалистом стоит задача визуально определить количество классов объектов на снимке,



**Рис. 2. Результат классификации методом K-means на примере проекта PLP2019**

*a* – снимок до классификации с обработкой FDI, *б* – снимок после классификации. Красным цветом выделены пластиковые плоты, установленные в рамках эксперимента

от чего будет зависеть точность полученного результата. Важно учесть, что программа считает только спектральные характеристики пикселей, она не может сама определить тип объекта, если его цвет будет отличаться.

Выбор типа классификации зависит от исходных данных. Классификация с обучением применяется в случае, когда заранее можно определить тип объектов на снимке. Обучение происходит на основе тренировочных полей, заданных специалистом, в противном случае программа сама группирует пиксели по схожести спектральных яркостей. Стоит отметить, что алгоритмы классификации с обучением используются чаще и показывают более высокую эффективность, однако при недостаточном количестве данных могут применяться неконтролируемые методы [3]. Одним из наиболее известных алгоритмов кластеризации является метод K-means или K-средних (рис. 2).

На заключительном этапе производится расчет площади загрязненной пластиком территории, проводится сравнение с предыдущими годами, а результат интегрируется во внешние форматы путем создания карт загрязнения.

Целью дальнейших исследований является совершенствование методики и апробация ее на территории РФ, особенно, в Арктической части страны. Кроме того, большие перспективы в области обнаружения пластика на снимках представляет использование глубокого обучения за счет того, что нейронные сети могут использовать пиксельные данные изображений и находить в них закономерности автоматически.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FSRW-2024-0005).*

### Литература

1. Соколов Ю. И. Риски тотального пластикового загрязнения планеты // Проблемы анализа риска. – 2020. – Т. 17, № 3. – С. 30–43.
2. Biermann L., Clewley D., Martinez-Vicente V. et al. Finding Plastic Patches in Coastal Waters using Optical Satellite Data // Sci Rep. – 2020. – Vol. 10. – P. 53–64.
3. Danilov A.; Serdiukova E. Review of Methods for Automatic Plastic Detection in Water Areas Using Satellite Images and Machine Learning. Sensors. – 2024. – No. 24. – P. 1–19.
4. Gonçalves G., Andriolo U., Pinto L. et al. Mapping marine litter with Unmanned Aerial Systems: A showcase comparison among manual image screening and machine learning techniques // Marine Pollution Bulletin. 2020. – Vol. 155. – P. 111–158.
5. Kaandorp M.L.A., Lobelle D., Kehl C. et al. Global mass of buoyant marine plastics dominated by large long-lived debris // Nat. Geosci. – 2023. – No. 16. – P. 689–694.
6. Kikaki K., Kakogeorgiou I., Mikeli P. et al. MARIDA: A benchmark for Marine Debris detection from Sentinel-2 remote sensing data // PLoS ONE. – 2022. – Vol. 17(1). – P. 247–262.



7. Topouzelis K., Papageorgiou D., Karagaitanakis A. et al. Remote Sensing of Sea Surface Artificial Floating Plastic Targets with Sentinel-2 and Unmanned Aerial Systems (Plastic Litter Project 2019) // Remote Sens. – 2020. – Vol. 12.

8. Kikaki K. et al. MARIDA: Marine Debris Archive. URL: <https://zenodo.org/records/5151941> (дата обращения: 17.08.2024).

9. Topouzelis K. PLP2019 dataset. URL: <https://zenodo.org/records/3752719#.YEE8oGj7RPZ> (дата обращения: 17.08.2024).

## **СОЗДАНИЕ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА РОССИИ НА ОСНОВЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

П. К. Синица, А. А. Черных, И. В. Яковенко, М. С. Корнева

ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, [p.sinitza@vniio.ru](mailto:p.sinitza@vniio.ru)

При создании любых структурно-тектонических карт и схем для акваторий ведущую роль наряду с бати- и сейсмометрической информацией играют цифровые модели (ЦМ) потенциальных полей. Существенную помощь при районировании магнитного и гравитационного полей (АМП и АГП), а также при комплексной интерпретации геолого-геофизических данных, оказывают ЦМ трансформант этих полей. В качестве наиболее информативных трансформант нами были выбраны: региональная и локальная составляющие, вертикальная составляющая градиента и модуль полной горизонтальной составляющей градиента, а также ТИЛТ-преобразование АМП и АГП.

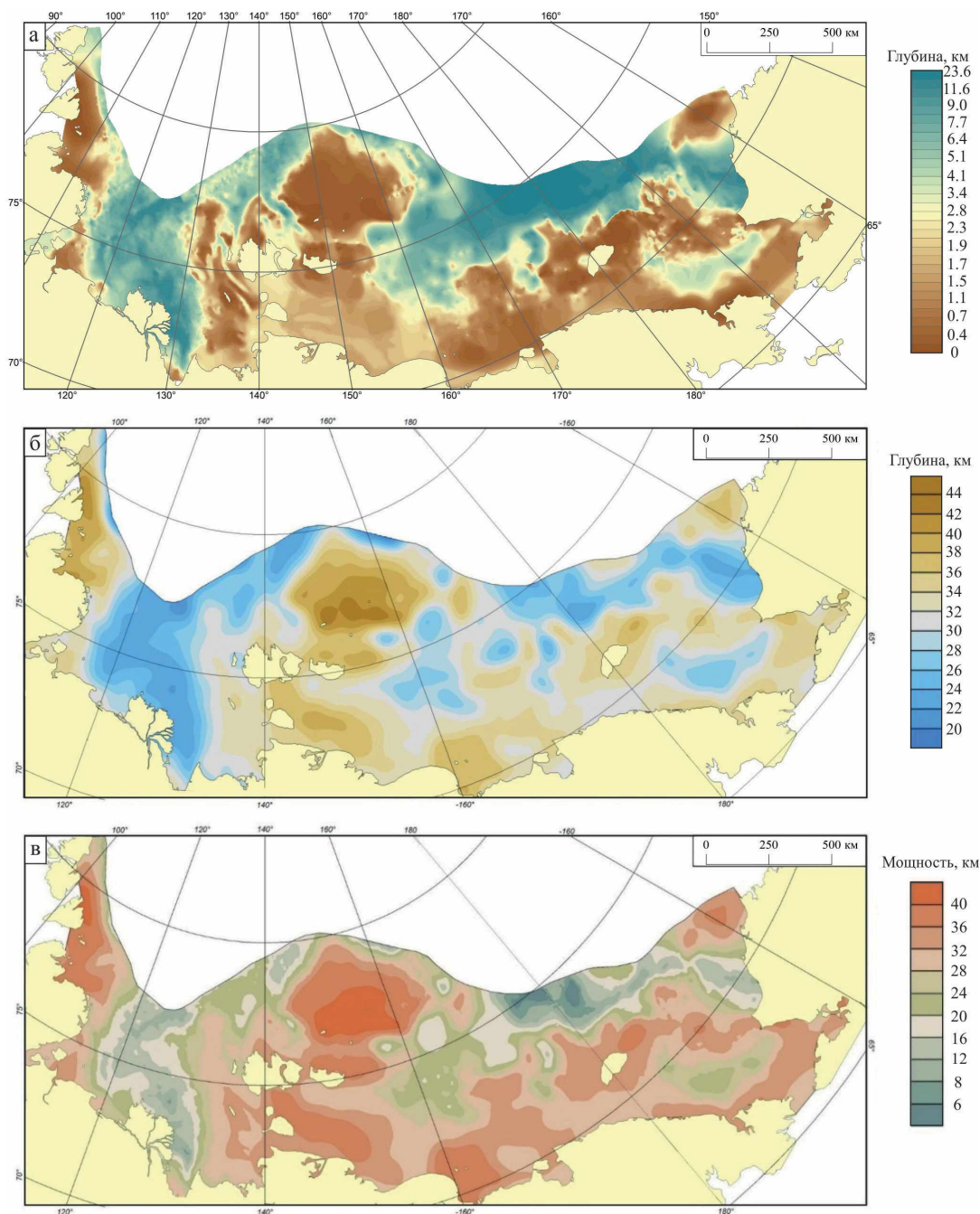
Работа включала в себя несколько этапов, первый из которых – разделение потенциальных полей на локальную и региональную составляющие с целью выявления относительно глубинных и приповерхностных источников аномалий. Второй этап включал в себя расчет дополнительных производных потенциальных полей, таких как вертикальная составляющая градиента АГП и АМП (позволяет выявить наиболее близкорасположенные к земной поверхности источники аномалий), модуль полной горизонтальной составляющей градиента АГП и АМП (трассирует высокоградиентные зоны, связываемые с разрывными нарушениями и границами блоков пород различного генезиса) и ТИЛТ-преобразование (определяется как арктангенс отношения вертикальной производной поля к горизонтальной и позволяет проследивать неглубокие структуры фундамента). На третьем этапе были выполнены корреляционный и структурный анализы АМП и АГП, а полученные при этом результаты были импортированы в ПО Kingdom для использования в процессе комплексной интерпретации данных с целью выделения основных структурно-тектонических элементов на исследуемой площади.

Для создания ЦМ рельефа подошвы чехла (поверхности акустического фундамента) (рис. 1, а) выполнена интерпретация всех доступных глубинных разрезов МОВ ОГТ в пределах исследуемой площади с выделением на разрезах акустического фундамента. Далее, по участкам, где сторонним авторам были доступны существенно большие объемы данных МОВ ОГТ, из отечественных и зарубежных отчетов и публикаций нами взята информация о глубинах залегания фундамента на этих участках (площади в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском, Чукотском и Бофорта). Она представлена преимущественно в виде карт изолиний. Поэтому была выполнена ее векторизация, а затем гридирование в отдельные ЦМ. Полученные ЦМ были объединены с созданной ранее оригинальной ЦМ по данным МОВ ОГТ при помощи опции «Объединение гридов» ПО Oasis montaj, шовным методом (рис. 1, а).

Глубина залегания поверхности Мохоровичича (Мохо) и мощность земной коры являются одними из основных параметров, определяющих природу коры. Для создания ЦМ рельефа раздела Мохо и мощности земной коры необходимо было разработать методику моделирования. С учетом того обстоятельства, что данные глубинной сейсморазведки крайне

малочисленны для создания ЦМ рельефа искомой поверхности Мохо использовался метод трехмерного гравитационного моделирования [1; 5]. Он основан на вычислении гравитационных эффектов от основных плотностных границ земной коры (от разделов «вода–дно» и «осадки–фундамент»), вычитании этих эффектов из наблюдаемого поля силы тяжести и на последующем пересчете остаточных гравитационных аномалий в глубины залегания поверхности Мохо.

В отсутствии данных бурения непосредственно на изучаемой площади единственной возможностью косвенно оценить плотностные характеристики пород, слагающих осадочный чехол, выбранной авторами в качестве оптимального подхода, являлся расчет этих характеристик на основании измерения скорости прохождения сейсмических, в частности, продольных волн  $V_p$ . Основываясь на результаты зондирований МОВ-МПВ вдоль профилей МОВ ОГТ были проанализированы скоростные характеристики осадочных пород. Полученная скоростная



**Рис. 1. Базовые цифровые модели глубинных разделов восточно-арктического сектора шельфа России, положенные в основу тектонической схемы:**  
*а* – рельеф фундамента, *б* – рельеф раздела Мохоровичича, *в* – мощность консолидированной части земной коры

зависимость  $V_p(H)$  была трансформирована в зависимость плотности пород  $\rho$  от мощности накопленного осадочного чехла  $H$ . Для этого был исследован ряд применяемых для этого корреляционных зависимостей  $\rho(V_p)$ , включая [7; 11]. Так, для осуществления перехода от скоростей осадочного чехла к его плотностям была использована полиномиальная регрессия, уравнение которой описывает кривую из работы [11], действительную для значений  $V_p$  в диапазоне от 1,5 до 8,5 км/с. Для учета гравитационного эффекта от увеличения плотности пород с глубиной было выполнено разбиение толщи осадочного чехла на отдельные слои по средним значениям плотности. Всего для осадочного чехла было выделено 10 слоев, которые были использованы при моделировании гравитационного эффекта от всей толщи осадочного чехла.

При построении 3D-модели рельефа поверхности Мохо (РПМ) (рис. 1, б) восточного сектора арктического шельфа России использовался программный модуль GMSYS-3D, предусмотренный в ПО Geosoft Oasis Montaj [13] и позволяющий выполнить вычисление гравитационного эффекта от сложных многослойных сред. Для учета искомого эффекта была создана модель, включающая поверхность морского дна, осадочный чехол, разделенный ранее на 10 слоев, и поверхность фундамента (рис. 1, а). Вычисление прямой задачи в трехмерной постановке проводилось с помощью алгоритма Р. Л. Паркера [12].

Концептуально применяемая в данной работе методика учета плотностных неоднородностей консолидированной части земной коры основана на вычислении гравитационных эффектов от известных плотностных границ и разделов в верхней части земной коры, вычитании этих эффектов из наблюдаемого поля силы тяжести и в последующем пересчете (инверсии) остаточных (мантийных) гравитационных аномалий в глубины залегания границы Мохо. Они пересчитывались в искомые глубины относительно средней глубины, равной 30 км, выбранной экспериментальным путем для минимизации СКО между модельными и априорными данными. Плотностной контраст на границе «кора–мантия» рассчитывался исходя из значений ЦМ плотности консолидированной коры и плотности подкоревой мантии, усредненное значение которой, согласно априорным данным, было принято за 3265 кг/м<sup>3</sup>. Стоит отметить, что ЦМ плотности консолидированной части земной коры была построена на основе средних значений скоростей, рассчитанных по результатам анализа известных значений скоростей в консолидированной части земной коры на имеющихся сейсмических профилях [3; 4; 8]. Затем был осуществлен переход к усредненным плотностям по выбранной ранее и наиболее подходящей для этой цели зависимости  $\rho(V_p)$  [11]. В результате моделирования с использованием ЦМ переменной плотности консолидированной части земной коры, СКО между априорными и модельными данными составило  $\pm 1,78$  км (при средней глубине Мохо 30 км), ошибка составила 6%. После этого была получена ЦМ суммарной мощности земной коры изучаемого региона, рассчитанная как разница между ЦМ РПМ (рис. 1, б) и ЦМ ИВСаО [9]. Кроме того, вычислена еще одна не менее информативная модель – ЦМ мощности консолидированной части земной коры (рис. 1, в), представляющая собой разность между ЦМ РПМ (рис. 1, б) и ЦМ рельефа поверхности фундамента (рис. 1, а).

Благодаря усовершенствованной в настоящей работе методике моделирования суммарного гравитационного эффекта от земной коры удалось достичь хорошего соответствия моделей с данными глубинных сейсмических экспериментов. Результаты сравнения полученных ЦМ РПМ с аналогичными из наиболее современных и опубликованных моделей [2; 10] показывают большую детальность и достоверность моделей, созданных в рамках настоящей работы.

Итогом выполненной работы стала структурно-тектоническая схема восточного сектора Арктического шельфа России (рис. 2). В данном макете сохранена идеологическая концепция ранее созданной схемы для Американо-Азиатского бассейна и сопредельных структур [6].

Помимо собственных структурно-тектонических построений, выполненных на основе комплексной интерпретации собранного массива геолого-геофизической информации, при построении настоящей карты были проанализированы многочисленные опубликованные схемы тектонического и геологического строения для каждого региона. Структурно-тектонические элементы на этих схемах были соотнесены с данными потенциальных полей, их трансформантами,

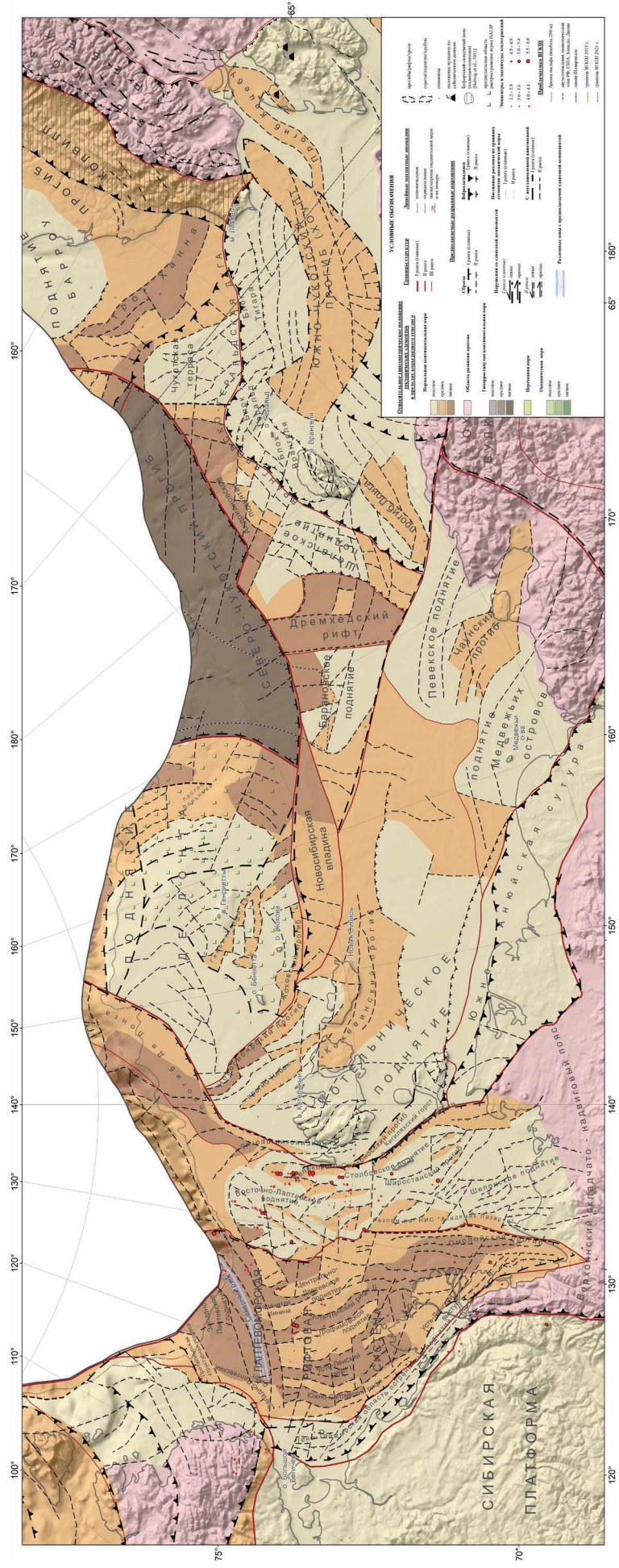


Рис. 2. Макет структурно-тектонической карты восточно-арктического сектора шельфа России масштаба 1 : 2 500 000. Уменьшенная копия

а также доступными сейсмическими материалами, батиметрией. Благодаря такому подходу было заверено и/или скорректировано положение структурно-тектонических элементов в пределах арктических морей России: в море Лаптевых, в Восточно-Сибирском и Чукотском морях. Так, на созданной схеме (рис. 2) в море Лаптевых были выделены две области: западная и восточная. Западная область включает Лаптевоморскую рифтовую систему, которая отделяется от восточной области листрическим разломом-детачментом им. НИС «Академик Лазарев» [8], а на западе отделяется от Сибирской платформы Лено-Таймырской областью пограничных поднятий. В восточной части моря Лаптевых находятся Восточно-Лаптевское, Шелонское, Столбовское поднятия, Широстанский, Бельковско-Святоносский прогибы. Вероятнее всего, западная и восточная части моря Лаптевых были ранее единым продолжением Верхояно-Колымской складчатой области, однако в кайнозой, в результате континентального рифтогенеза западная часть испытала погружение с образованием к настоящему моменту Лаптевоморской рифтовой системы. Северо-западная часть также испытала процессы растяжения, однако изначально в ее основании лежат Таймырские структуры, простирающие которые сильно отличается от структур южной части.

### Литература

1. Глебовский В. Ю., Астафурова Е. Г., Черных А. А. и др. Мощность земной коры в глубоководной части Северного Ледовитого океана: результаты 3D гравитационного моделирования // Геология и геофизика. – 2013. – № 3. – С. 327–334.
2. Кашибин С. Н., Петров О. В., Андросов Е. А. и др. Карта мощности земной коры циркумполярной Арктики // Региональная геология и металлогения. – 2011. – № 46. – С. 5–13.
3. Поселов В. А., Аветисов Г. П., Каминский В. Д. Российские арктические геотраверсы. – СПб. : ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга», 2011. – 172 с.
4. Тектоностратиграфический атлас Восточной Арктики / Отв. ред.: О. В. Петров, М. Смеллор. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2020. – С. 49–71.
5. Черных А. А., Яковенко И. В., Каминский В. Д. и др. Тектоническая схема Американо-Северного Ледовитого океана // Докл. РАН. Науки о земле. – 2023. – Т. 510, № 2. – С. 134–141.
6. Черных А. А., Яковенко И. В., Корнева М. С. и др. Цифровые модели глубинного строения земной коры Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана // Геотектоника. – 2024. – № 1. – С. 48–70.
7. Brocher T. M. Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth's crust // Bulletin of the seismological Society of America. – 2005. – Vol. 95, no. 6. – P. 2081–2092.
8. Franke D., Hinz K., Oncken O. The Laptev sea rift // Marine and Petroleum Geology. – 2001. – Vol. 18, no. 10. – P. 1083–1127.
9. Jakobsson M., Mayer L. A., Bringsen C. et al. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean Version 4.0 // Geophysical research letters. – 2020. – Vol. 47. – P. 176.
10. Lebedeva-Ivanova N., Gaina C., Minakov A. et al. ArcCRUST: Arctic crustal thickness from 3D gravity inversion // Geochem. Geophys. Geosystems. – 2019. – P. 3225–3247.
11. Nafe J. E., Drake C. L. Variation with depth in shallow and deep-water marine sediments of porosity, density and velocity of compressional and shear waves // Geophysics. – 1957. – P. 523–552.
12. Parker R. L. A new method for modeling marine gravity and magnetic anomalies // Journal of Geophysical Research. – 1974. – Vol. 79. – P. 2014–2016.
13. Geosoft Oasis Montaj Tutorial and User Guide, 2006, Montaj Geophysics v.6.1.

# ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В ПРЕДЕЛАХ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ

А. В. Караваев<sup>1,2</sup>, А. Г. Федоров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>АО «Комбинат КМАруда», г. Губкин

<sup>2</sup>Институт динамики геосфер им. академика М. А. Садовского РАН,  
Москва, karavaev\_av@metholding.ru; fedorovandrey31@gmail.com

В соответствии с «Положением о порядке осуществления Государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации», утвержденным Приказом от 21.05.2001 г. № 433, мониторинг месторождений твердых полезных ископаемых предназначен:

- для оценки текущего состояния разрабатываемых месторождений;
- прогнозирования изменений состояния разрабатываемых месторождений.

Ведение объектного (локального) мониторинга состояния недр осуществляют недропользователи, влияющие на состояние недр. Основным объектом исследований является обводненный рудно-кристаллический массив, в пределах которого разрабатываются Коробковское и Лебединское железорудные месторождения Курской магнитной аномалии (КМА).

Цели исследований заключаются в следующем:

- мониторинге уровней подземных вод и водопритоков в горные выработки;
- определении амплитуд вариаций сейсмических, гидрогеологических и барометрических параметров при проведении массовых взрывов;
- изучении эффектов постсейсмического снижения уровней подземных вод;
- оценке фильтрационных параметров рудно-кристаллического массива и возможных изменений параметров.

В пределах района работ подземные воды развиты в отложениях всех систем осадочной толщи и в зоне трещиноватости пород докембрия. В осадочной толще содержится четыре водоносных горизонта и комплекса – четвертичный, турон-коньякский, альб-сеноманский и юрский. К богатым рудам и трещиноватым породам кристаллического фундамента приурочен пятый водоносный комплекс – архей-протерозойский. Подземные воды четвертичного и турон-коньякского горизонтов безнапорные. Напор остальных водоносных горизонтов и комплексов определяется наличием в кровле водовмещающих пород водоупоров, представленных плотным мелом и глинами.

По условиям циркуляции преимущественно развиты поровые-пластовые подземные воды песчаных отложений. Трещинно-пластовые воды приурочены к меловой толще, а также к зонам экзогенной трещиноватости архей-протерозойских образований. В зонах повышенной трещиноватости пород, сопровождающих разломы, литолого-стратиграфические контакты, преимущественное распространение получают трещинно-жильные воды, получающие питание от вышележающих трещинно-пластовых вод. Общая мощность обводненной зоны составляет 120–200 м.

Глубина залегания зеркала грунтовых вод зависит в большей степени от рельефа местности и колеблется от 0,1 до 65,0 м. Наиболее водобильными являются пески альб-сеноманского водоносного горизонта, который повсеместно эксплуатируется водозаборами города и предприятий для хозяйственно-питьевого и технологического водоснабжения. Подземные воды рассматриваемого промышленного региона находятся в сфере действующих Коробковского и Лебединского железорудных месторождений и характеризуются техногенно-нарушенным режимом подземных вод, представленным двумя типами.

Первый тип проявляется в виде региональной воронки депрессии в процессе работы дренажных систем промышленных предприятий по осушению горных выработок шахты им. Губкина и карьера Лебединского месторождения. В районе депрессионной воронки уровни подземных вод значительно понизились. Сформировались две депрессионные воронки: первая

в горизонтах осадочного чехла; вторая в водоносной зоне трещиноватости архей-протерозойских кристаллических пород. Анализ режимных наблюдений по гидронаблюдательным скважинам, расположенным в пределах Коробковского месторождения, показал, что за последние 25 лет снижение уровня альб-сеноманского водоносного горизонта по скв. 7 г-ш составило около 5 м, архей-протерозойского водоносного комплекса по наблюдательной скв. 2 г-ш – 10 м.

Ко второму типу техногенно-нарушенного режима относятся купола растекания, образованные в зоне действия фильтрационных сооружений в виде повышения уровней подземных вод относительно статических. Уменьшение глубины залегания уровней подземных вод в районе связано с образованием в 1968 г. гидроотвала «Березовый Лог», созданием хвостохранилища Лебединского горно-обогатительного комбината в балке Караичево, с заполнением в 1978 г. Старооскольского водохранилища. В результате развития процессов инфильтрации из гидротехнических сооружений темп снижения уровней подземных вод в районе депрессионной воронки замедлился (рис. 1).

В пределах шахтного поля Коробковского железорудного месторождения наблюдения за режимом четвертичного и альб-сеноманского водоносных горизонтов, архей-протерозойского водоносного комплекса выполняются по опорной сети скважин, расположенных на территории I–III зон горного отвода недр АО «Комбинат КМАруда». Измерения уровней подземных вод проводятся ежемесячно с использованием стандартных электроуровнемеров. Полученные данные используются при составлении квартальных и ежегодных отчетов по оценке гидрогеологической ситуации на территории разрабатываемого Коробковского месторождения.

В 2019–2021 гг. ряд скважин опорной сети был оборудован высокоточными датчиками уровня воды Keller PR-36XW. На приустьевых площадках скважин установлены датчик атмосферного давления Keller PAA-33X, сейсмометры СПВ-3К, 6 канальные регистраторы REFTEK-130 и Centaur CTR4-6S. Частота опроса составляет 200 Гц/канал. Полученные данные сейсмических, гидрогеологических и барометрических измерений используются для оценки фильтрационных свойств водонасыщенных коллекторов и анализа техногенного влияния промышленных взрывов, производимых в процессе разработки Коробковского и Лебединского железорудных месторождений на рудно-кристаллический массив.

В процессе обработки получаемых экспериментальных данных установлена корреляция между вариациями уровня подземных вод и атмосферным давлением. Коэффициент барометрической эффективности, представляющий собой отношение амплитуды отклика уровня к изменению вертикальной барометрической нагрузки, изменяется в широких пределах. В верхних горизонтах, приуроченных к обводненной толще обводненных песчаных отложений

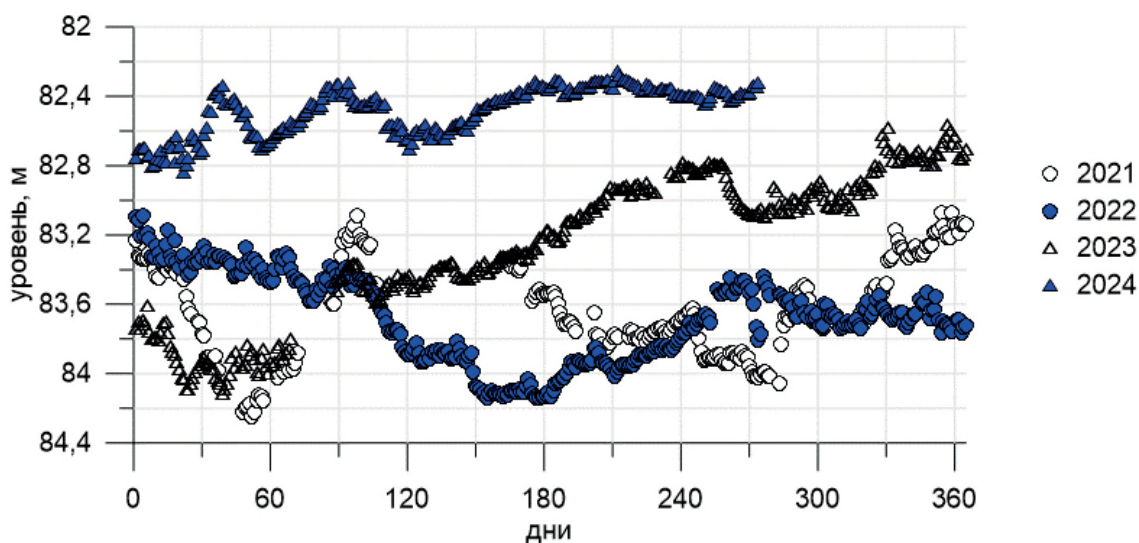


Рис. 1. Вариации уровня архей-протерозойского водоносного комплекса за период наблюдений 2021–2024 гг.

альб-сеномана, не превышает  $-0,45 \dots -0,50$  м/кг·с/м<sup>2</sup>, в кристаллических породах архей-протерозоя увеличивается до  $-0,90$  м/кг·с/м<sup>2</sup>. Полученные значения барометрической эффективности используются для оценки сжимаемости водовмещающих пород, которая может изменяться от  $3,5 \times 10^{-11}$  до  $2 \times 10^{-10}$  в песчаных отложениях.

В исходных гидрогеологических данных отчетливо прослеживаются суточные и полусуточные вариации уровней подземных вод, обусловленные пороупругой реакцией водонасыщенных коллекторов на земные приливы (рис. 2). На основе спектрального анализа сейсмических, гидрогеологических и барометрических данных выделяются основные типы приливных волн.

Полусуточная приливная волна  $M_2$  устойчиво проявляется в гидрогеологических данных и используется для оценки фильтрационных свойств водовмещающих пород (рис. 3). По данным измерений, выполненных в 2022–2023 гг., водопроницаемость железистых кварцитов, вскрытых в одной из наблюдательных скважин, изменяется от 0,16 до 0,22 м<sup>2</sup>/сут.

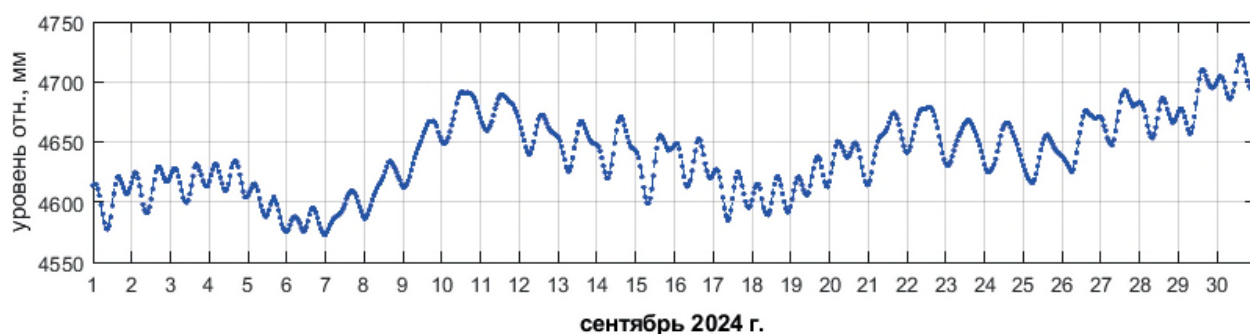


Рис. 2. Вариации уровня архей-протерозойского водоносного комплекса по данным высокоточных измерений (относительно глубины установки датчика)

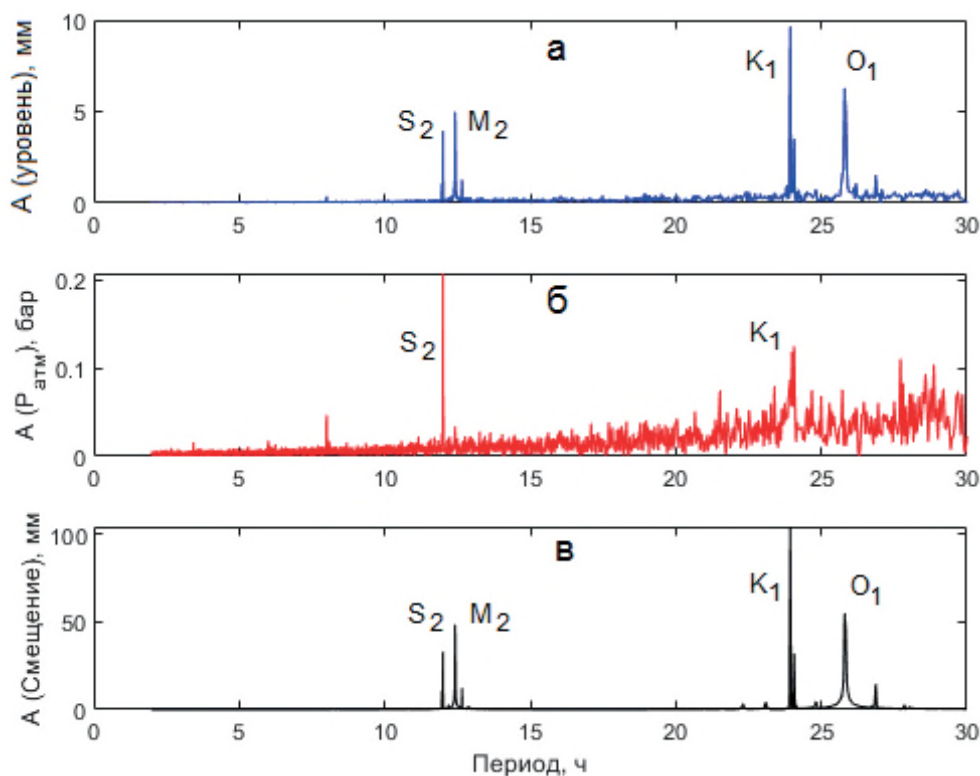


Рис. 3. Амплитудные спектры приливных волн в уровне архей-протерозойского водоносного комплекса (а), атмосферном давлении (б) и теоретически рассчитанном смещении грунта (в)



Динамические вариации фильтрационных параметров водонасыщенных коллекторов могут быть обусловлены не только изменением условий питания и разгрузки подземных вод, но и с техногенными факторами, связанными с разработкой рудно-кристаллического массива с использованием взрывных технологий. Данные высокоточных измерений позволяют выделить различные гидрогеологические эффекты при проведении промышленных взрывов. Наряду с осцилляциями давления в системе «пласт–скважина» и косейсмическими вариациями в ряде случаев зарегистрированы постсейсмические снижения уровня [2].

Подобные гидрогеологические эффекты отмечаются при землетрясениях на разных эпицентральных расстояниях [1]. Отмеченные гидрогеологические эффекты свидетельствуют о разных механизмах деформирования водонасыщенных коллекторов при сейсмическом воздействии [3]. Осцилляции уровня и порового давления в системе «пласт–скважина» свидетельствуют о пороупругой реакции на прохождение сейсмических волн от промышленных взрывов и землетрясений. Косейсмические скачкообразные изменения, вероятно, соответствуют квазиобратимым эффектам и связаны с локальными изменениями в околоскважинном пространстве, в частности с кольматацией или декольматацией трещин. Постсейсмические эффекты проявляются на стадии необратимого режима деформирования водовмещающего коллектора и могут свидетельствовать как о формировании наведенной трещиноватости в скальных грунтах, так и об уплотнении в песчаных отложениях.

Таким образом, внедрение и использование современных аппаратурно-измерительных комплексов позволяет осуществлять наблюдения не только за режимом подземных вод, но и отслеживать возможные изменения фильтрационных свойств водовмещающих пород, находящихся в сфере интенсивного техногенного влияния. Переход на новый уровень информационно-методического обеспечения горнопроходческих работ может обеспечить оперативный контроль гидрогеодинамической обстановки и состоянием разрабатываемого массива горных пород.

*Исследование выполнено в рамках Государственного задания Института динамики геосфер им. академика М. А. Садовского РАН (тема № 122032900172–5).*

#### Литература

1. Копылова Г. Н., Болдина С. В. Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скважинах Камчатки. – Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2019. – 144 с.
2. Gorbunova E., Besedina A., Petukhova S. et al. Reaction of the Underground-Water to Seismic Impact from Industrial Explosions // *Water*. – 2023. – Vol. 15. – 1358 p.
3. Wang C.-Y., Mang, M. Changes in Tidal and Barometric Response of Groundwater during Earthquakes – A Review with Recommendations for Better Management of Groundwater Resources // *Water*. – 2023. – Vol. 15. – 1327 p.

## ОСОБЕННОСТИ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ РАЙОНА ОЗЕРА ВОСТОК

И. А. Шуклин, А. С. Егоров

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, shuklinilya2007@gmail.com*

Озеро Восток располагается в пределах Восточно-Антарктического кратона, фундамент которого выполнен архейскими и раннепротерозойскими образованиями с возрастом от 3,9 до 1,6 млрд лет. Кроме того, здесь выделяются мезопротерозойско-неопротерозойские подвижные пояса с возрастом 1200–1000 и 570–520 млн лет соответственно [4]. К платформенному чехлу здесь относятся слабометаморфические и неметаморфизованные осадочные породы платформенных и рифтовых бассейнов неопротерозойского и палеозойско-раннемезозойского возрастов [4]. Мощность ледового покрова в пределах кратона достигает 4 км с редкими выходами фундамента на поверхность в прибрежной части континента.

В ходе исследования был проведен анализ широкого комплекса геолого-геофизических и дистанционных материалов района озера Восток, включающего космические снимки, данные лазерной альтиметрии, гравиметрической и магнитометрической съемок, радиолокации, сейсморазведочных и сейсмологических исследований [6].

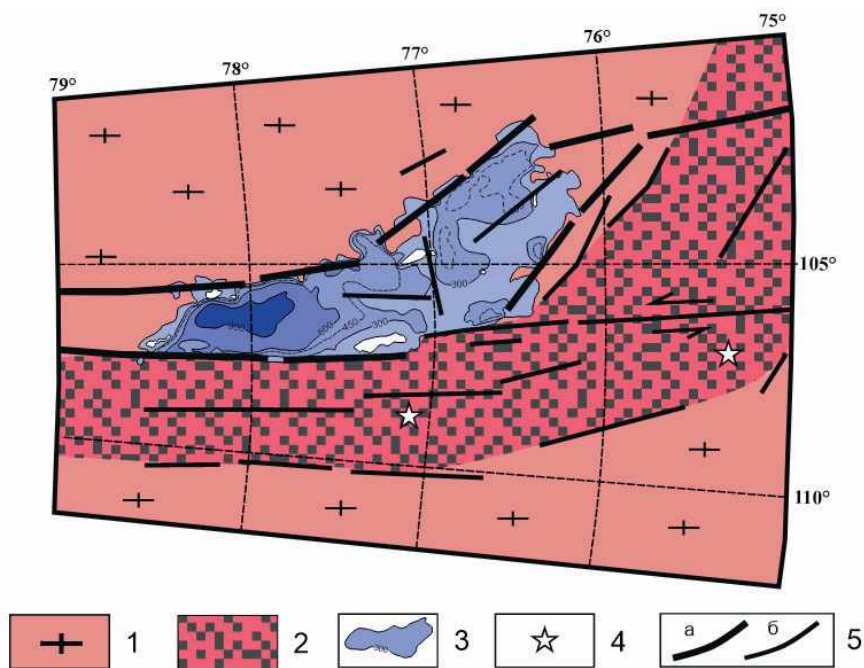
Несмотря на значительный объем проведенных геофизических работ, проблема изучения генезиса подледникового озера Восток остается дискуссионной. Г. Л. Лейченков и его коллеги включают озеро в состав обширной рифтовой системы Антарктиды позднемезозойского заложения, простирающейся от залива Прюдс вдоль ледника Ламберта в глубь континента [4]. М. Штудингер с соавторами на основе данных гравитационного моделирования пришли к выводу о том, что образование озера Восток произошло в результате незначительной реактивации надвига в пределах древней (докембрийской) континентальной коллизионной зоны [7]. Ф. Ферраччоли с соавторами по комплексной интерпретации геофизических данных по Восточной Антарктиде выдвинули модель развития обширной позднепалеозойско-мезозойской рифтовой системы, включающей озеро Восток и некоторые другие подледниковые озера [3].

Выполненная нами комплексная интерпретация геолого-геофизических данных позволяет говорить о рифтовой природе и приуроченности озера Восток к региональной левосторонней сдвиговой зоне, простирающейся от Трансантарктических гор (рис. 1).

Доказательством этого предположения может выступать сейсмическая активность моделируемого регионального сдвига, развивающегося вдоль восточного берега озера. В каталогах выделяются землетрясения с гипоцентрами на глубинах около 10 км [7].

Согласно данным радиолокации и сейсморазведки, восточный берег озера Восток имеет линейную форму и крутой склон, при том, что западный берег характеризуется изрезанной границей с многочисленными заливами, изолированными островами и впадинами [2]. Это дополнительно подтверждает наблюдение о том, что главное разрывное нарушение развивается вдоль восточного фланга озера.

Анализ проявления в потенциальных полях и морфология озера Восток позволяют выделить две зоны. Первая может быть классифицирована как присдвиговая рифтовая зона, развивающаяся вдоль главного шва. Она занимает южную котловину озера с размерами  $70 \times 30$  км с глубинами



**Рис. 1. Схема строения кристаллического фундамента района подледникового озера Восток**  
 1 – комплексы древней (AR–PR) коры, 2 – комплексы межблоковой зоны, 3 – изобата озера Восток, 4 – эпицентры землетрясений, 5 – разрывные нарушения (а – главные, б – второстепенные)

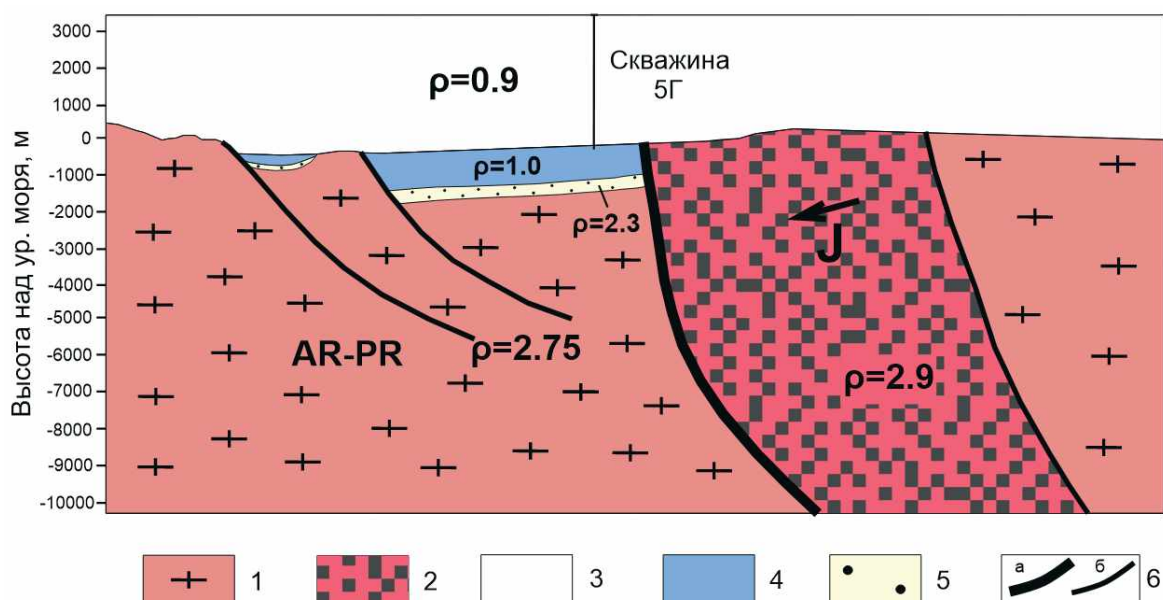


Рис. 2. Разрез верхней коры района подледникового озера Восток

1 – комплексы древней (AR-PR) коры, 2 – комплексы межблоковой зоны, 3 – ледник, 4 – водный слой озера Восток, 5 – донные отложения, 6 – разрывные нарушения (а – главные, б – второстепенные)

от 900 до 1200 м. Вторая простирается под углом  $45^{\circ}$  относительно оси регионального сдвига и занимает северную котловину ( $150 \times 70$  км) с глубинами от 300 до 600 м [2]. Эта структура может быть проинтерпретирована как «pull-apart», которая детально изучена в пределах Мёртвого моря и Долины Смерти [5].

Весьма дискуссионным является вопрос о составе структурно-вещественных подразделений фундамента рассматриваемого района. Ключевым элементом в решении этой проблемы выступает интерпретация аномального гравитационного и магнитного полей.

Нами обращено внимание на то, что вдоль восточного фланга озерной впадины развивается положительная аномалия гравитационного поля интенсивностью до 50 мГал на фоне отрицательных значений поля над озером и западнее его. Вдоль этой же зоны фиксируется крупная магнитная знакопеременная линейная аномалия, ширина которой составляет 40–50 км при длине в сотни км. Их совместная качественная и количественная интерпретация, с расчетом прямой и обратной задач геофизики, позволяет объяснить природу этих аномалий проявлением межблоковой шовной зоны, обрамляющей восточный берег озера Восток (рис. 2). В пользу этой гипотезы выступает обнаружение в ледовом керне молибденита, сфалерита и пирита, что может свидетельствовать о вулканическом составе комплексов, слагающих эту структуру [1].

Моделирование разреза верхней коры проводилось с помощью расчета прямой задачи для гравитационного и магнитного полей. На первом этапе проводился гравиметрический подбор разреза для плотностей, указанных на рис. 2. На втором этапе подбирались параметры намагниченности сутурной зоны до совпадения формы и амплитуды наблюдаемой и рассчитанной магнитной аномалии.

Таким образом, комплексная интерпретация позволяет сделать вывод о том, что озеро Восток имеет рифтовое происхождение с левосторонней сдвиговой компонентой. Главное разрывное нарушение приурочено к восточному флангу озера. По данным гравитационного и магнитного полей выделена шовная зона и построен разрез верхней коры.

### Литература

1. Лейченко Г. Л., Беляцкий Б. В., Попков А. М. и др. Геологическая природа подледникового озера Восток в Восточной Антарктиде // Материалы гляциологических исследований. – 2005. – № 98. – С. 81–91.

2. Попов С. В., Масолов В. Н., Лукин В. В. Озеро Восток, Восточная Антарктида: мощность ледника, глубина озера, подледный и коренной рельеф // Лед и снег. – 2011. – № 1(113). – С. 25–35.
3. Ferraccioli F., Finn C. A., Jordan T. A. et al. East Antarctic rifting triggers uplift of the Gamburtsev Mountains // Nature. – 2011. – Vol. 479. – P. 388–392.
4. Leitchenkov G. L., Antonov A. V., Luneov P. I. et al. Geology and environments of subglacial Lake Vostok // Phil. Trans. R. Soc. A. – 2016. – Vol. 374.
5. Smit J., Brun P., Cloetingh S. et al. Pull-apart basin formation and development in narrow transform zones with application to the Dead Sea Basin // Tectonics. – 2008. – Vol. 27. – TC6018.
6. Studinger M., Bell R. E., Karner G. D. et al. Ice cover, landscape setting, and geological framework of Lake Vostok, East Antarctica // Earth and Planetary Science Letters. – 2003. – Vol. 205, no 3–4. – P. 195–210.
7. Studinger M., Karner G. D., Bell R. E. et al. Geophysical models for the tectonic framework of the Lake Vostok region, East Antarctica // Earth and Planetary Science Letters. – 2003. – Vol. 216, no 4. – P. 663–677.

ГЕОЛОГИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
И ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ  
ИСКОПАЕМЫХ

# ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ УРАНА В РУДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЛАСТОВО-ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ТИПА НА ПРОЦЕСС ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ (ПСВ)

Д. К. Абдихамитов<sup>1</sup>, Ю. М. Медведева<sup>1</sup>, П. Е. Чистилин<sup>2</sup>, А. А. Брехт<sup>2</sup>,  
М. С. Жондиллаева<sup>2</sup>, С. Р. Мусабаев<sup>2</sup>, Б. Б. Раисов<sup>2</sup>, Л. С. Вятченникова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва,

<sup>2</sup>Филиал АО «Волковгеология» – «Геотехноцентр», <sup>3</sup>ТОО «Два Кей»  
dos7771tin@mail.ru

Отработка урановых руд на месторождениях пластово-инфильтрационного типа проводится методом сернокислотного подземного скважинного выщелачивания.

Для правильного ведения процесса подземного выщелачивания, анализа работы полигонов, планирования добычи урана и расхода реагентов выполняются расчеты основных геотехнологических параметров.

Практика отработки месторождений показывает, что прогнозные расчеты зачастую не совпадают с фактическими результатами работы блоков. Это приводит к увеличению срока отработки блоков, нерациональному расходу реагентов и материалов и прочим негативным последствиям.

Выявление причин несоответствия прогнозных расчетов геотехнологических показателей и фактических результатов при добыче урана методом ПСВ является непростой задачей, поскольку факторов, влияющих на процесс выщелачивания урана, большое количество. Главными причинами могут являться природные факторы, которые нельзя изменить, в других случаях – техногенные факторы, зависящие от человека, а в-третьих случаях – и те, и другие.

Достаточно подробно изучено влияние на показатели процесса ПСВ технологических факторов, таких как схемы вскрытия оруденения, положение фильтров в скважинах, работа скважин, подача серной кислоты и т. д.

В то же время, влиянию природных характеристик оруденения на процесс добычи уделяется недостаточно внимания.

В данной статье рассматривается влияние распределения содержания урана в рудном теле на несоответствие прогнозных расчетов и фактических результатов при добыче урана.

Исследования были проведены на основе геотехнологической информации одного из рудников, по 27 технологическим блокам с коэффициентом извлечения урана 90 %. Анализ данных проводился с использованием метода корреляционного анализа.

**Несоответствие прогнозных и фактических результатов по добыче урана.** В практике работы рудников по добыче урана методом ПСВ несоответствие прогнозных расчетов и фактических показателей по выщелачиванию урана привело к появлению термина «проблемные блоки».

Проблемными стали называть технологические блоки, в которых при полном соблюдении требований к вскрытию руды, четком выполнении регламента по закислению и выщелачиванию производственные показатели по добыче урана имеют значения значительно хуже проектных. Добыча урана в таких блоках сопровождается быстрым уменьшением концентрации урана в ПР, низкими темпами добычи, увеличением объемов рабочих растворов и увеличением сроков отработки запасов.

Изучение вопроса проблемных технологических блоков показало, что возникающее несоответствие прогнозных расчетов и фактических показателей добычи урана связано с погрешностью вычисления основных плановых показателей выщелачивания урана из-за недостаточно обоснованного выбора параметра Ж/Т (или  $f$ ).

В этой связи возникает вопрос о методе определения величины параметра  $f$  для сооруженного блока и последующего планирования показателей добычи урана на его основе.

Ниже будет рассмотрена взаимосвязь между параметром  $f$  и содержанием урана в блоке ( $C_{ГРМ}$ ). По определению, содержание урана в блоке равно отношению вскрытых запасов урана  $P$  на горнорудную массу блока  $Q_{ГРМ}$ . Вычисляют содержание по формуле (1):

$$C_{ГРМ} = \frac{P}{Q_{ГРМ} \times 10}, \% \quad (1)$$

где  $P$  – вскрытые запасы урана в технологическом блоке, т;  $Q_{ГРМ}$  – горнорудная масса технологического блока, тыс. т.

**Аналитическая зависимость параметра  $f$  от содержания урана  $C_{ГРМ}$  в блоке.** Для нахождения аналитического выражения между параметром  $f$  и содержанием урана в блоке  $C_{ГРМ}$  преобразуем известное уравнение для вычисления коэффициента извлечения урана (2):

$$K_{изв.} = \frac{Q_{ПР} \times C_{ср}}{P} \times 10^2, \% \quad (2)$$

где  $P$  – количество урана в блоке, т;  $K_{изв.}$  – коэффициент извлечения, %;  $Q_{ПР}$  – количество ПР, добытых из блока (ячейки, скважины) за определенный период времени, м<sup>3</sup>;  $C_{ср.}$  – среднее содержание урана в ПР, мг/дм<sup>3</sup>.

Умножим и поделим правую часть выражения (2) на  $Q_{ГРМ}$  и плотность раствора  $\rho_{п-р}$  и, проведя преобразования, получим искомую зависимость для параметра  $f$  в виде выражения (3):

$$f = \frac{K_{изв.} \times C_{ГРМ} \times \rho_{п-р} \times 10^2}{C_{ср}} \quad (3)$$

где  $f$  – отношение Ж/Т;  $\rho_{п-р}$  – плотность раствора, г/дм<sup>3</sup>.

Уравнение (3) указывает на сложную зависимость параметра  $f$  от коэффициента извлечения урана, содержания урана в блоке и средней концентрации урана в ПР. По уравнению (3) невозможно вычислить точное значение параметра  $f$  для сооруженного блока, так как неизвестна средняя концентрация урана в ПР на момент извлечения 90 % металла из блока.

Тем не менее полученное уравнение (3) указывает на возможное существование статистической зависимости параметра  $f$  от содержания урана в блоках с коэффициентом извлечения, равным 90 %.

**Корреляционный анализ между параметрами  $f$  и содержаниями урана в блоках с коэффициентом извлечения 90 %.** Для 27 технологических блоков с извлечением урана 90 % был определен коэффициент парной корреляции между  $C_{ГРМ}$  и параметром  $f$ . Коэффициент имеет высокое значение равное 0,86, что указывает на значимую связь между двумя параметрами.

На рис. 1 приведена корреляционная диаграмма зависимости параметров  $f$  от содержаний урана в блоках с коэффициентом извлечения 90 %.

На диаграмме видно, что точки значений  $C_{ГРМ}$  и  $f$  для блоков концентрируются в последовательность, имеющую тенденцию увеличения параметра  $f$  с увеличением значения содержания урана в блоке. Эта тенденция согласуется с формулой (3).

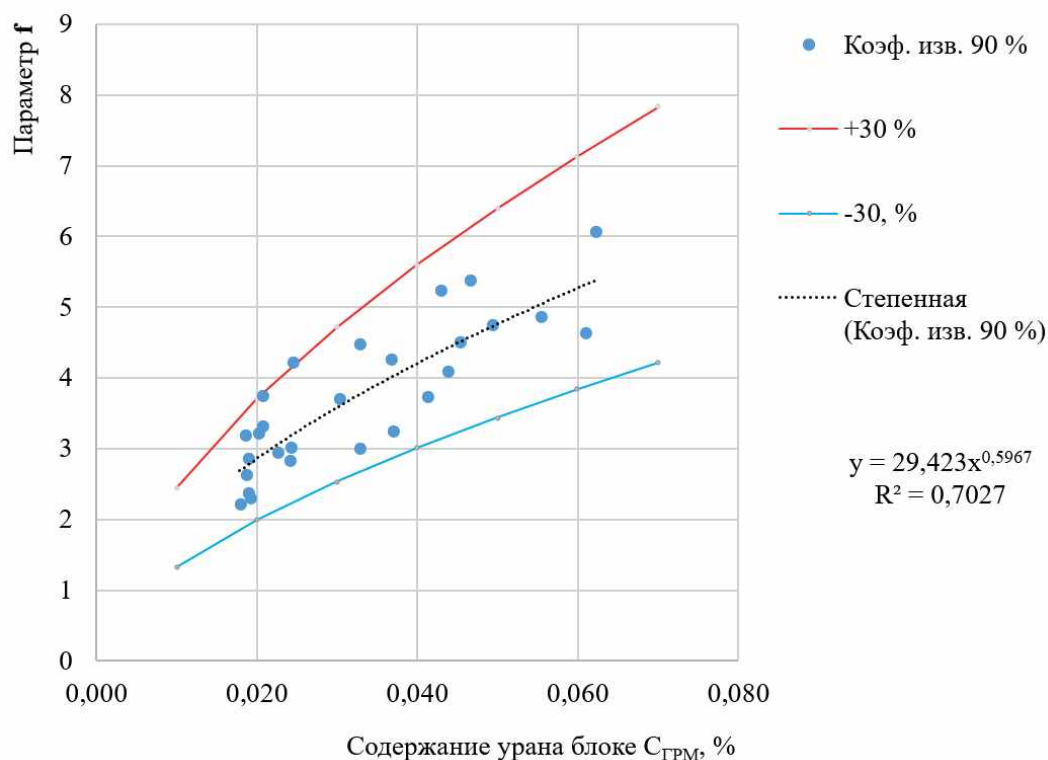
Для массива данных диаграммы построена линия тренда в виде степенной функции (черная пунктирная линия на рис. 1). Уравнение линии тренда имеет вид (4):

$$f_{90} = 29,423 \times (C_{ГРМ})^{0,5967} (R^2 = 0,7027) \quad (4)$$

где  $f_{90}$  – значение параметра Ж/Т при коэффициенте извлечения 90 % урана из блока.

Как видно на диаграмме, точки располагаются внутри области неопределенности, ограниченной линиями значений меньше и больше величины тренда на 30 %.

Облако точек на диаграмме характеризуется не только возможными ошибками вычислений запасов урана и горнорудной массы, но также может быть связано с нарушением технологии добычи. В то же время, характер распределения точек указывает на очень важную особенность взаимного влияния содержания урана в блоке на разброс значений параметра  $f$ . С увеличением значения  $C_{ГРМ}$  увеличивается не только величина параметра  $f$ , но и интервал



**Рис. 1. Корреляционная диаграмма зависимости параметра  $f$  от содержаний урана в блоках с коэффициентом извлечения 90 %**

неопределенности. Можно предположить, что основная причина в таком распределении точек на диаграмме заключается в неравномерном распределении содержаний урана в рудном теле.

Таким образом, на основе корреляционного анализа получена зависимость параметра  $f_{90} \pm 30\%$  от содержания урана в блоке на момент извлечения 90 %. Эта зависимость позволяет:

- 1) оценить параметр  $f_{90} \pm 30\%$  по фактической величине запасов урана и горнорудной массы вскрытого блока;
- 2) использовать значения параметра  $f_{90} \pm 30\%$  для повышения точности прогноза добычи урана на весь период работы технологических блоков.

**Влияние распределения содержания урана в рудном интервале на процесс добычи методом ПСВ.** Ранее было высказано предположение, что разброс точек на корреляционной диаграмме рис. 1 относительно линии тренда можно объяснить влиянием распределения содержания урана в рудном теле.

Покажем это на примере рудного интервала, определенного методом КНД-м в скважине.

Метод КНД-м определяет в рудном интервале среднее содержание урана с шагом 0,10 м. Это позволяет рассматривать весь рудный интервал как сумму интервалов мощностью 0,10 м со значениями содержания урана, измеренных методом.

Тогда для скважины с площадью влияния, равной  $S$ , и рудным интервалом мощностью  $m$  можно записать следующие тождества для содержания урана в блоке  $C_{ГРМ}$  (5):

$$C_{ГРМ} = \frac{P}{Q_{ГРМ} \times 10} = \frac{S \times m \times \rho_n \times 10 \times C}{S \times m \times \rho_n \times 10} = C, \% \quad (5)$$

где  $P$  – запасы урана в области влияния скважины, кг;  $ГРМ$  – горнорудная масса в области влияния скважины, тыс. т;  $S$  – площадь влияния скважины, м<sup>2</sup>;  $m$  – мощность рудного интервала, м;  $C$  – среднее содержание урана в руде, %;  $\rho_n$  – объемная масса рудовмещающих пород и руд, т/м<sup>3</sup>.



**Распределение линейных запасов урана и изменение расчетного значения параметра  $f_{90}$  в выборках по содержанию урана в рудном интервале**

Интервал содержаний		m, м	КНД-м, С, %	КНД-м, mC, %	Доля от общих запасов, %	$f_{90}$ расчет.
от	до					
0,016		0,1	0,016	0,0016	0,14	2,5
0,025		0,1	0,025	0,0025	0,21	3,3
0,030	0,038	0,9	0,034	0,0303	2,58	3,8
0,045	0,047	0,7	0,046	0,0323	2,74	4,6
0,050	0,057	0,2	0,054	0,0108	0,92	5,0
0,060	0,065	0,3	0,063	0,0188	1,60	5,4
0,071	0,073	0,3	0,072	0,0215	1,83	5,8
0,089		0,1	0,089	0,0089	0,76	6,6
0,100	0,191	2,5	0,152	0,3788	32,22	8,8
0,204	0,298	0,7	0,243	0,1700	14,46	11,5
0,308	0,369	0,3	0,332	0,0996	8,47	13,7
0,417	0,607	0,3	0,530	0,1593	13,55	17,8
0,772	0,788	0,2	0,780	0,1561	13,27	22,0
0,853		0,1	0,853	0,0853	7,25	23,1
Итого		6,8	0,173	1,1757	100,00	9,5

Как видно из приведенных тождеств, содержание урана  $C_{ГРМ}$  в блоке равно содержанию урана в рудном интервале. Это позволяет применить уравнение линии тренда (4) для оценки параметра  $f_{90}$  для любого значения содержания урана  $C$  в рудном интервале.

Рассмотрим рудный интервал, определенный методом КНД-м, в скважине. Параметры интервала:  $m = 6,80$  м;  $mC = 1,1757$  м %;  $C = 0,173$  %; средняя продуктивность рудного тела  $mU = 19,99$  кг/м<sup>2</sup>.

На рис. 2 приводятся графики изменения содержаний урана и расчетного значения параметра  $f_{90}$  по длине рудного интервала.

График распределения содержаний урана построен по данным КНД-м, а график изменения расчетного параметра  $f_{90}$  по результатам вычислений по уравнению линии тренда (4).

Как видно на графиках, распределение содержаний урана в рудном интервале крайне неравномерное, поэтому и параметр  $f_{90}$  изменяется в широких пределах. Максимальное значение  $f_{90} = 26,8$  прогнозируется для интервала мощностью 10 см с максимальным содержанием урана 0,853 %.

Графики наглядно отображают неравномерность выщелачивания урана в рудном интервале и подтверждают правило: чем выше содержание урана в руде, тем больше потребуется выщелачивающих растворов для достижения контрактной степени извлечения и тем больше будет параметр  $f_{90}$ .

**Вариант представления рудного интервала через содержания урана.** Проведем сортировку по значениям содержаний урана в рассмотренном рудном интервале на рис. 2. Затем проводим стандартный алгоритм вычисления средних параметров оруденения в следующем порядке:

- 1) формируем выборки по содержаниям урана с шагом, равным 0,010 или 0,100 %, в зависимости от содержаний урана;
- 2) для каждой выборки вычисляем суммарное значение мощности и метропроцента;
- 3) вычисляем среднее содержание урана по выборкам делением полученного значения метропроцента на мощность.

В результате проведенных операций получаем таблицу, в которой отображается характер распределения запасов урана по содержаниям урана в рудном интервале.

Прежде всего обращает на себя внимание неравномерное распределение линейных запасов урана по содержаниям. На интервалы мощностью 0,60 м с содержанием урана от 0,417 до 0,853 % приходится треть от общих запасов урана – 34 % (выделено серым цветом), а параметр  $f_{90}$

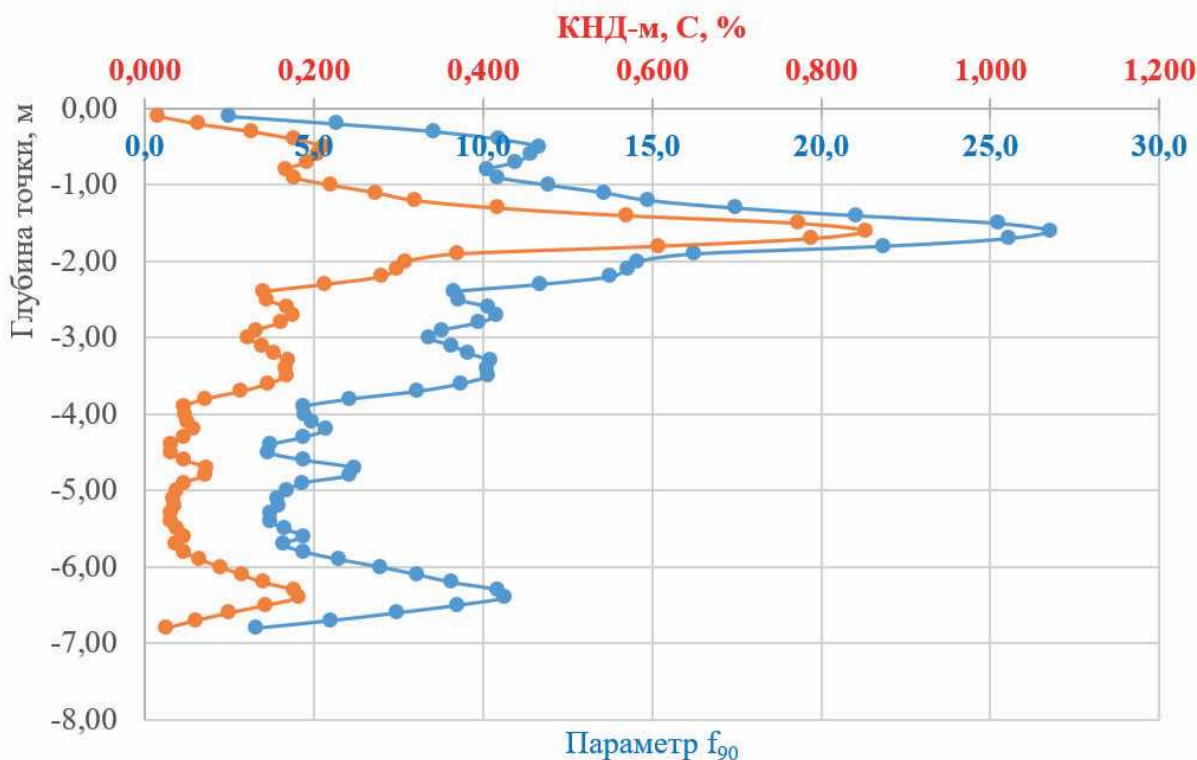


Рис. 2. Графики изменения содержания урана по данным КНД-м и расчетного параметра  $f_{90}$  по рудному интервалу скважины

для этих интервалов оценивается значениями от 17,8 до 23,1. Такое неравномерное распределение запасов приводит к существенным проблемам в процессе выщелачивания урана.

Необходимо отметить, что значение параметра  $f_{90}$ , равное 9,5 по всему рудному интервалу, является наиболее вероятным для достижения 90 % извлечения урана в зоне влияния скважины.

Результаты, полученные в таблице, позволяют сделать следующие выводы:

- 1) с увеличением содержания урана в интервале выборки возрастает и величина параметра  $f_{90}$ ;
- 2) по мере отработки руд с малым значением параметра  $f_{90}$  дальнейшее выщелачивание будет сопровождаться существенным разбавлением ПР и снижением в них концентрации урана;
- 3) наличие высоких содержаний урана при малой мощности рудного интервала можно считать негативным фактором для добычи урана методом ПСВ из-за большого значения параметра  $f_{90}$ . Распределение содержания урана и параметра  $f_{90}$  в рудном интервале указывает на невысокое качество руды для выщелачивания.

Таким образом, проблемы, возникающие при добыче урана при полном соблюдении производственного регламента по выщелачиванию, связаны, в первую очередь, с неравномерностью распределения содержаний урана в рудных телах. Особенно негативно сказывается на выщелачивании урана наличие руд малой мощности и с высоким содержанием урана.

**Выводы.** На основе проведенных исследований по влиянию распределения содержаний урана в руде на добычу урана методом ПСВ можно сделать следующие выводы.

- 1) Предложен метод оценки параметра  $f_{90}$  для прогнозных расчетов плановых показателей по факту вскрытия технологических блоков (ячеек).
2. На основе корреляционного анализа получено уравнение для оценки значения параметра  $f_{90}$  с точностью  $\pm 30\%$  в диапазоне содержаний урана в блоке от 0,018 до 0,062 %.
3. Показана применимость расчетов  $f_{90}$  для рудных интервалов.
4. На примере рудного интервала показано влияние неравномерного распределения содержаний урана на величину параметра  $f_{90}$ . С увеличением содержания урана возрастает значение параметра.

5. По мере отработки руд с малым значением параметра  $f_{90}$  дальнейшее выщелачивание будет сопровождаться существенным разбавлением пластовыми водами продуктивных растворов и снижением в них концентрации урана.

6. Наличие высоких содержаний урана при малой мощности рудного интервала можно считать негативным фактором для добычи урана методом ПСВ из-за большого значения параметра  $f_{90}$ .

7. Предложено объяснение по разбросу точек на корреляционной диаграмме, которое определяется распределением запасов урана по лито-фильтрационным типам рудного тела.

### Литература

1. Язиков В. Г., Забазнов В. Л., Петров Н. Н. и др. Геотехнология урана на месторождениях Казахстана. – Астана, 2001. – 422 с.

## АНАЛОГОВОЕ ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ – ВАЖНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РУДНЫХ ЗОН (ПРИМЕР БАИМСКОЙ РУДНОЙ ЗОНЫ, ЧУКОТКА)

Н. А. Арешин

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
Москва, Skaut1909@mail.ru*

**Введение.** Разрывы и их пересечения в той или иной степени неизменно участвуют в локализации коренных месторождений и рудопроявлениях металлических полезных ископаемых эндогенного происхождения, а также влияют на их геометрию, так как способствуют подъему магмы, являющейся источником химических элементов. Особенно хорошо это видно на примере медно-порфировых месторождений и оруденений, так как в этом случае разрывы способствуют подъему магмы, вовлеченной в формирование медно-порфировых месторождений. При этом медно-порфировые месторождения и оруденение обычно приурочены к интрузивам среднего или кислого состава [1; 11].

Аналоговое физическое моделирование (оно же моделирование на эквивалентных материалах) имеет важное значение для правильного понимания и интерпретации природных структур, помогает уточнить физические условия деформации, восстановить ориентировку осей напряжения, тип и ранг поля напряжений, в котором формировалась структура. Эти знания необходимы для обоснованного выделения этапов и стадий развития изучаемой структуры, прогнозирования структурных ловушек рудной минерализации. Аналоговое физическое моделирование ограничивает варианты геологической интерпретации рамками физических законов деформации твердого тела, отмечая необоснованные фантазии. Итогом моделирования на эквивалентных материалах совместно с другими методами геологических исследований является выделение разновозрастных структурных и минерально-структурных парагенезов и создание внутренне непротиворечивой структурной модели. Структурная модель является основой комплексной генетической модели месторождения, ресурсной модели и прогнозно-поисковой модели. Прогноз рудных залежей базируется на определении величины структурного рудного шага, размеров, морфологии и кинематики структурных ловушек минерализации [7].

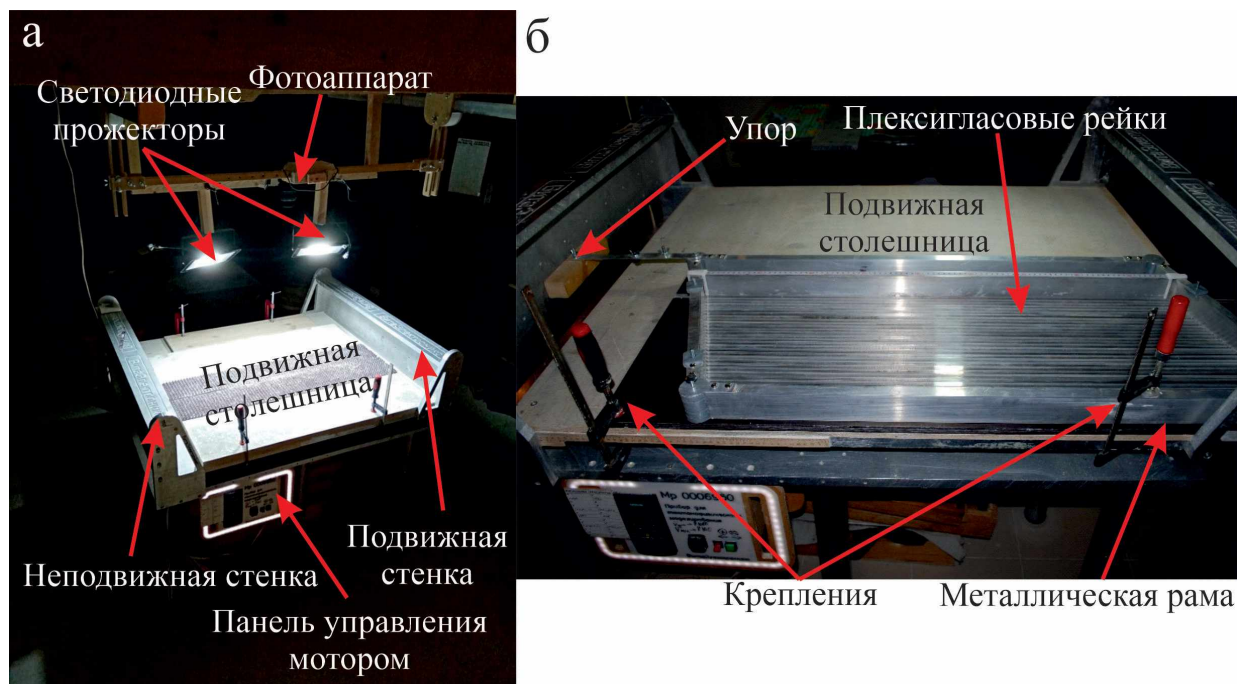
Длительное время задача изучения трещинного структурного парагенеза в интрузивных телах в сдвиговых зонах при физическом аналоговом моделировании не ставилась, однако Н. С. Фролова с соавторами успешно моделировали сдвиговый трещинный структурный парагенез как в отдельных интрузивах на территории БРЗ, так и рудной зоны в целом [4].

**Краткая характеристика Баимской рудной зоны.** Баимская рудная зона представляет собой полосу шириной 35 км и длиной 170 км, простирающуюся с СЗ на ЮВ, состоящую из блоков, разделенных крупными извилистыми, пересекающимися разрывами сдвиговой кинематики. Она принадлежит к Алазейско-Олойской складчатой системе и ассоциирует

с позднеюрским – раннемеловым островодужным вулканоплутоническим комплексом. Эта коллизивно-офиолитовая сутура маркирует зону субдукции позднеюрского–раннемелового океанического бассейна и раннемеловой коллизии Колымо-Омолонского и Анюйско-Чукотского террейнов [2]. Рудоносные гипабиссальные полифазные интрузии диоритового весенинского и монцонитоидного егдыгкычского комплексов прорывают смятые в складки вулканогенно-осадочные отложения верхней юры – нижнего мела. Складчатое строение осадочного чехла Баймской рудной зоны позволяет пренебречь его расслоенностью – считать квазиоднородным. БРЗ включает месторождения и рудопроявления медно-порфириновых и эпitherмальных золото-серебряных руд. Наиболее изученной частью БРЗ является Баймская лицензионная площадь, приуроченная к Егдыгкычскому массиву, к которой принадлежит ряд месторождений и оруденений, в том числе крупнейшее в России медное месторождение Песчанка. [8].

**Методика исследований.** Моделирование проводится на приборе для тектонофизического моделирования, изготовленного по индивидуальному заказу и представляющего собой стол с двумя стенками, одна из которых движется вместе со столешницей. Прибор оснащен электромотором, который позволяет изменять скорость в достаточно широких для поставленной задачи пределах (рис. 1).

Все опыты по сдвиговым зонам нужно разделять на моделирование сдвига неоднородного и однородного по вертикали и латерали. В первом случае для моделирования применяются две доски, движущиеся параллельно друг другу, на которых выложен образец. В этом случае одна из досок струбцинами прижималась к столешнице, а другая прикреплялась к неподвижной стенке путем выставления упора (рис. 1, а). В случае моделирования сдвига, однородного по вертикали и латерали, используется ряд узких параллельных плексигласовых реек шириной 1 см (31 штука), также сдвигаемых параллельно друг другу с помощью специального приспособления, представляющего собой металлическую раму, сконструированную так, чтобы была возможность искажения из прямоугольника в параллелограмм, сохраняя при этом исходное расстояние между длинными сторонами. Для этого в его конструкцию добавлена еще одна металлическая рейка,двигающаяся по рельсам параллельно длинным



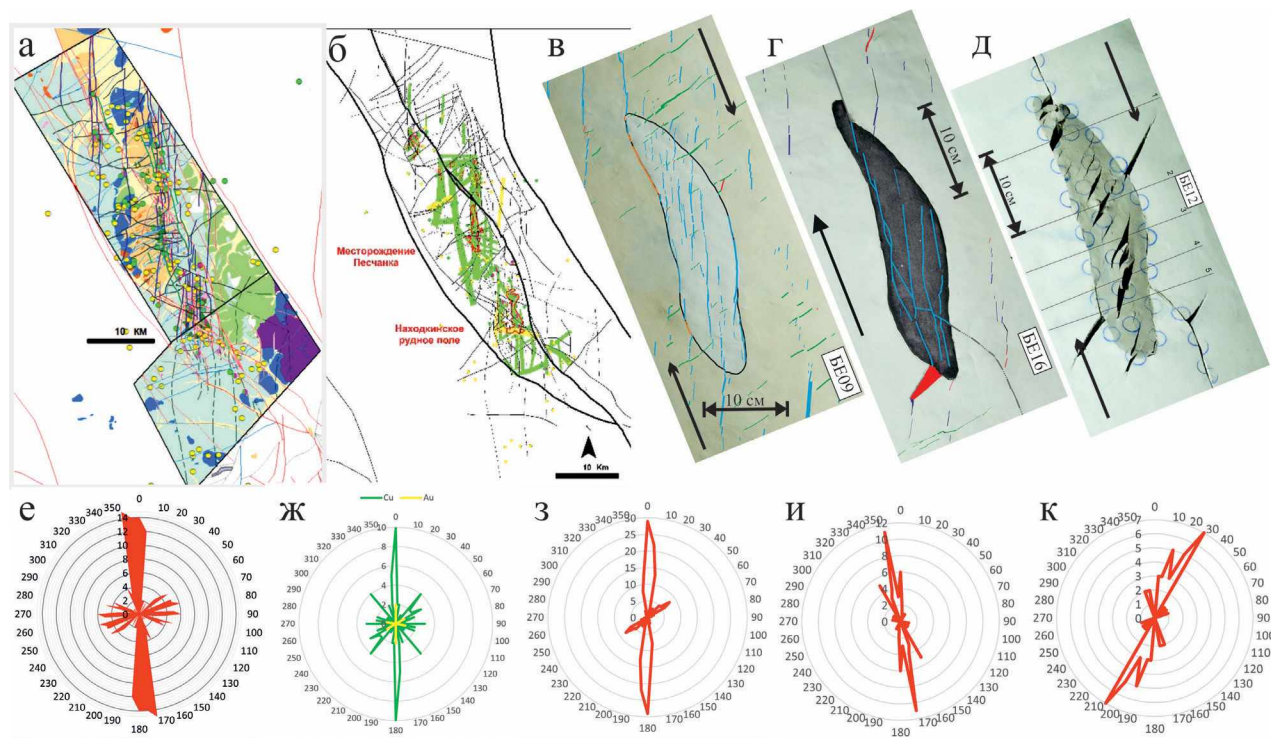
**Рис. 1. Прибор для физического аналогового моделирования**

а – с приспособлением для моделирования сдвига, неоднородного по вертикали и латерали; б – с металлическим приспособлением к основному прибору, используемым для моделирования сдвига, однородного по вертикали и латерали

сторонам параллелограмма (рис. 1, б). При этом для обеспечения равномерного смещения модели по всей ширине рейки покрывались силиконовым герметиком по аналогии с прибором Г. Шреурса [9]. Для освещения использовались два светодиодных прожектора, свет от которых падал на установку под углом примерно 45° для обеспечения наилучшей передачи рельефа изображений на фотографиях.

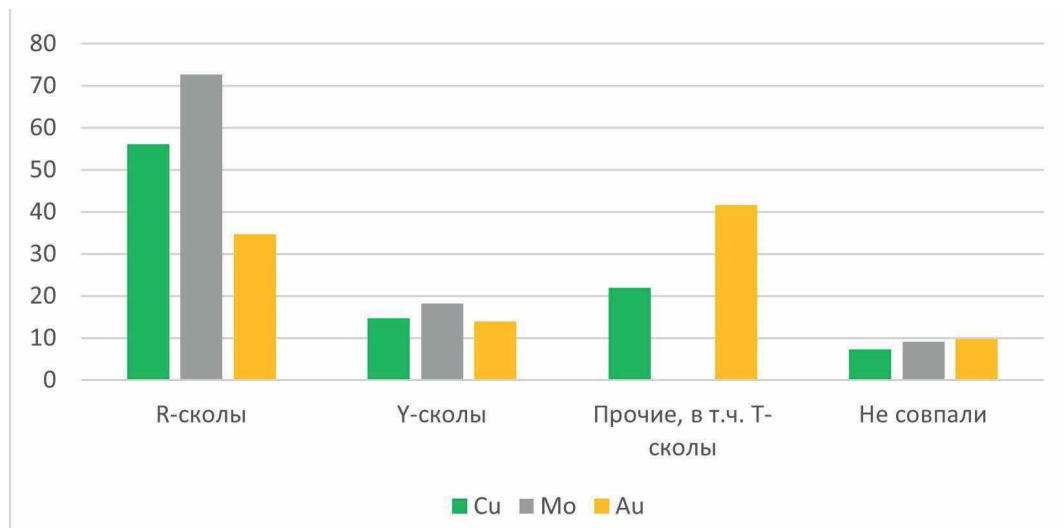
**Результаты экспериментов и их обсуждение.** Результаты моделирования, а также построенные розы-диаграммы указывают, что многочисленные R-сколы, развитые как в самом теле, так и во вмещающих породах, ориентированы под углом в среднем 15° к направлению сдвига. Точно такую же ориентировку имеют многочисленные меридиональные разрывы в интрузивных массивах БРЗ и их окрестностях. Так, А. Ф. Читалин [5] показал, что зоны медно-порфировой минерализации вытянуты в меридиональном направлении (рис. 2), а зоны золото-серебряной минерализации ориентированы под большим углом к ним, точно так же, как и «косые» разрывы Егдыкгычского массива. В Находкинском районе, как считает А. Ф. Читалин, диагональные разрывы являются более поздними и представляют собой структуры растяжения. Естественно, что с ними связана более низкотемпературная эпитегрмальная минерализация. Эти сведения подтверждают предположения о том, что «косые» разрывы Егдыкгычского массива также являются структурами растяжения.

Опыты подтвердили, что меридиональная система трещин является наиболее ранней и развивалась в то время, когда породы интрузии еще не до конца остыли. С ними должна быть преимущественно связана медно-порфировая минерализация, а с поздними «косыми» трещинами



**Рис. 2. Сравнение ориентировки разрывов в экспериментах и природе:**

**а** – Баимская лицензионная площадь с разрывами, установленными по результатам аэромагнитной съемки и геологическим наблюдениям [Читалин, 2019а с дополнениями и изменениями], кружками отмечены зоны оруденений; **б** – зоны проницаемости (разрывы) по данным аэромагнитной съемки на Баимской площади [Читалин, 2019а с изменениями и дополнениями]; **в, з** – модели Егдыкгычского интрузива в чехле из влажной каолиновой глины: **в** – из влажной каолиновой глины в зоне сдвига, однородного по вертикали и латерали (опыт БЕ09), **з** – из сухого мелкозернистого песка в чехле в зоне комбинированного сдвига (Опыт БЕ16); **д** – интрузива из каолиновой глины с добавками для изготовления фаянсовых изделий (опыт БЕ12 с зияющими трещинами отрыва); розы диаграммы ориентировки трещин отрыва, построенные по данным: **е** – по рис. 2, **а**; **ж** – по рис. 2, **б**; **з** – по рис. 2, **в**; **и** – по рис. 2, **г**; **к** – по рис. 2, **д**



**Рис. 3. Диаграмма приуроченности минерализации к разным системам разрывов, построенная по данным, приведенным на рис. 2, а**

отрыва – более низкотемпературная эпитермальная Au-Ag минерализация. Взяв за основу схему А. Ф. Читалина [5], провели корреляцию месторождений и рудопроявлений к разрывам разных систем (рис. 3). Видно, что медь и молибден действительно в большей мере тяготеют к более ранним меридиональным разрывам, а золото – к «косым», в том числе трещинам отрыва. Молибден же в последних вовсе не встречается, так как он свойственен ранней порфировой стадии минерализации [6].

**Заключение.** Результаты аналогового моделирования не могут служить гарантией правильности той или иной точки зрения, но могут опровергнуть заведомо невозможный вариант или подсказать новый. В данном случае эксперименты показали, что основные структурные элементы поэтапно развиваются в одной и той же обстановке правого сдвига. Меридиональные разрывы – более ранние: это вязкие разрывы скалывания, с ними ассоциируется более высокотемпературная минерализация. «Косые» разрывы – более поздние, являются трещинами отрыва и развиваются в среде с хрупкими свойствами. Такие свойства могли приобрести магматические породы при их остывании. С трещинами отрыва связана низкотемпературная минерализация. Моделирование позволило также предположить локализацию потенциально флюидопроницаемых зон, например, на некоторых контактах и тенях давления Егдыкычского интрузивного массива.

### Литература

1. Месторождения металлических полезных ископаемых – Изд. 2-е, испр. и доп. / В. В. Авдонин, В. Е. Бойцов, В. М. Григорьев и др. – М. : Трикта, 2005. – 720 с.
2. Покровная тектоника Южно-Анхойской сутуры (Западная Чукотка) / С. Д. Соколов, Г. Е. Бондаренко, О. Л. Морозов, А. В. Ганелин, И. И. Подгорный // Докл. РАН. – 2001. – Т. 376, № 1. – С. 80–84.
3. Аналоговое моделирование хрупких деформаций в интрузивных массивах Баимской рудной зоны (Западная Чукотка) / Н. С. Фролова, Н. А. Арешин, Т. В. Кара, А. Ф. Читалин // Труды VII Международной геолого-геофизической конференции и выставки «ГеоЕвразия-2024. Геологоразведочные технологии – наука и бизнес». Т. 1. – Тверь : ООО «ПолиПРЕСС», 2024а. – С. 253–257.
4. Н. С. Фролова, Н. А. Арешин. Роль аналогового моделирования в изучении структурообразования Баимской рудной зоны (Западная Чукотка) // Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический аспект: тезисы докладов Всероссийской конференции, посвященной 75-летию ИЗК СО РАН, 45-летию лаборатории тектонофизики, 90-летию со дня рождения профессора С. И. Шермана – Иркутск : Издательство ИГУ, 2024б. – С. 123–124.
5. Читалин А. Ф. Геолого-структурная интерпретация геофизических и геохимических аномалий Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // ГеоЕвразия-2019. Современные технологии изучения и освоения недр Евразии: Сб. материалов Международной геолого-геофизической конференции и выставки (г. Москва, 4–7 февраля 2019 г.). – Тверь : ООО «ПолиПРЕСС», 2019а. – С. 961–966.

6. Порфирово-эпитермальные системы Баимской рудной зоны, Западная Чукотка / А. Ф. Читалин, Ю. Н. Николаев, И. А. Бакшеев, В. Ю. Прокофьев, Е. В. Фомичев, В. В. Усенко, Е. В. Нагорная, Л. И. Марущенко, Ю. Н. Сидорина, Г. Т. Джеджея // Смирновский сборник-2016. Проблемы минерагении, экономической геологии и минеральных ресурсов: Часть I. Проблемы минерагении, экономической геологии и минеральных ресурсов. – М.: МАКС Пресс, 2016. – С. 82–114.

7. Читалин А. Ф. Структурный анализ и тектонофизическое моделирование при поисках скрытого оруднения // Разведка и охрана недр. – 2024, № 1 – С. 58–67.

8. Читалин А. Ф. Структурные парагенезы и рудная минерализация Баимской сдвиговой зоны, Западная Чукотка // Российская тектонофизика. К 100-летию юбилею Михаила Владимировича Гзовского. – Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2019б. – С. 333–349.

9. Schreurs G. Fault development and interaction in distributed strike-slip shear zones: an experimental approach / Eds.: F. Storti, R. E. Holdsworth, F. Salvini // Intraplate Strike-slip Deformation Belts. Geological Society, London, Special Publications. – 2003. – Vol. 210, no. 1. – P. 35–52.

11. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems // Economic Geology. – 2010. – Vol. 105, no. 1. – P. 3–41.

## МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Е. О. Барабаш<sup>1</sup>, О. А. Иванова<sup>1</sup>, В. П. Афанасьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН,  
Новосибирск, avp-diamod@mail.ru

Минералогические поиски месторождений алмазов являются основными в прогнозировании и важнейшими в системе поиска. Это связано с тем, что минералогические поиски основаны на использовании прямых поисковых признаков – алмазов и индикаторных минералов кимберлитов, которые необходимы и достаточны для обеспечения прогноза, тогда как геофизические, геохимические и другие методы работают с поисковыми предпосылками, которые при условии необходимости не обеспечивают условия достаточности. Однако ситуация такова, что за последние десятилетия не найдено ни одного крупного коренного месторождения алмазов. Поэтому необходимо усовершенствовать минералогические методы прогнозирования и поиска месторождений алмазов, что позволит более объективно подходить к выбору наиболее перспективных площадей под поиски.

Традиционно алмазы и индикаторные минералы кимберлитов (ИМК) изучались порознь разными специалистами, что обуславливалось спецификой работы с алмазами. Поэтому не всегда результаты их изучения согласовывались друг с другом. Целесообразно в едином комплексе изучать минералогические особенности алмазов и индикаторных минералов кимберлитов как в условиях генерации минералов в литосферной мантии, так и в экзогенных условиях при формировании ореолов и россыпей, и на этой основе вырабатывать единый подход к прогнозным построениям.

Для реализации поставленной задачи необходимо:

– выработать критерии различия индикаторных минералов в ореолах, связанных с кимберлитами разного возраста на площадях полихронного кимберлитового магматизма; разработать оптимальную схему описания индикаторных минералов из ореолов для выделения минералов, связанных с продуктивными кимберлитами; выработать методы прогнозирования площадей, перспективных на обнаружение продуктивных кимберлитов, для Якутии, в первую очередь, среднепалеозойского возраста;

– дать сравнительную характеристику алмазов из россыпей и кимберлитовых тел, выявить «экзотические» типы алмазов, не характерные для кимберлитов;

– изучить типоморфизм «экзотических» типов алмазов из россыпей, оценить возраст и тип их коренных источников; определить роль «экзотических» типов алмазов в минерагении россыпей, а также в прогнозировании и поисках промышленных коренных месторождений алмазов; изучить распространение выделенных типов алмазов на территории Сибирской платформы;

– сопоставить результаты изучения ИМК и алмазов в единой системе для формулирования прогнозных заключений при поисках месторождений алмазов и выявить наиболее перспективные площади с точки зрения алмазности.

Данный подход реализован в ИГМ СО РАН совместно с АК «АЛРОСА». Он позволяет выработать оптимальный, необходимый и достаточный комплекс исследований индикаторных минералов кимберлитов и алмазов для использования в практике геологоразведочных работ на алмазы.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕКОВОГО АНАЛИЗА АПАТИТА (АФТ) ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕКТОНО-ТЕРМАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМ: ОПЫТ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

Т. Э. Багдасарян<sup>1,2</sup>, Р. В. Веселовский<sup>1,2</sup>, А. В. Чистякова<sup>1,2</sup>, Д. А. Кревсун<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва,

<sup>2</sup>Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва,

e-mail: tanya.bagdasaryan@yandex.ru

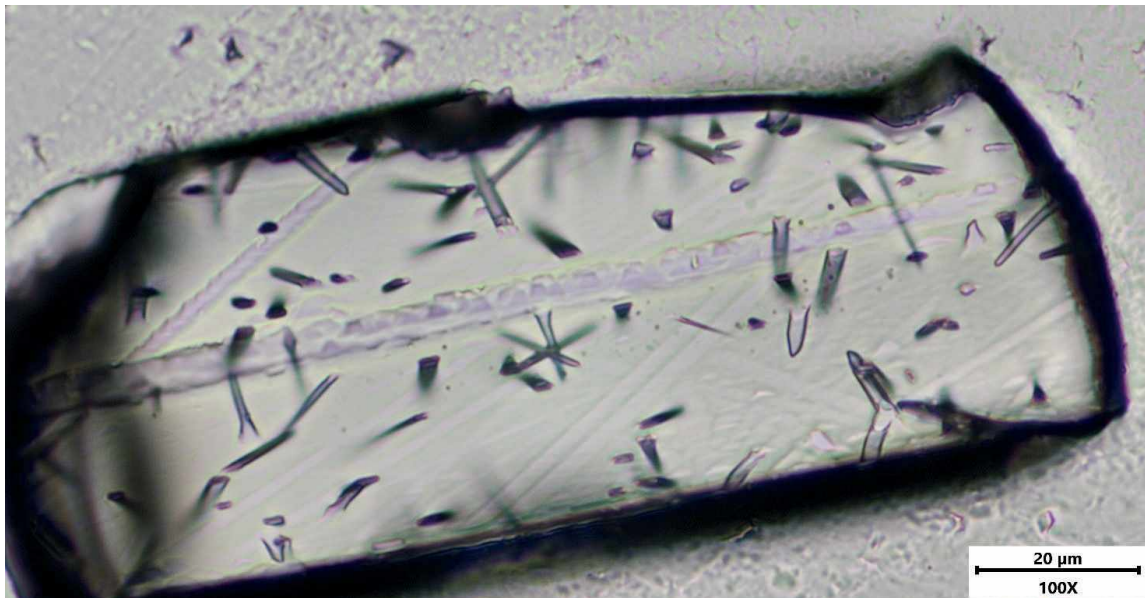
Породы осадочных бассейнов, магматических комплексов и кристаллического фундамента древних платформ являются уникальным источником сведений об их тектоно-термальной эволюции. Методы низко- и среднетемпературной термохронологии способны выявлять этапы прогревов и охлаждения горных пород в интервале 40–300 °С и дают возможность реконструкции термальной эволюции верхних горизонтов земной коры с высокой детальностью. При решении подобного рода задач, метод трекового анализа апатита (Apatite Fission-Track Analysis, AFT) является одним из наиболее востребованных: с его помощью становится возможным оценить время, прошедшее с момента последнего остывания пород ниже 110 °С, а также проследить динамику этого процесса.

В докладе будут представлены результаты трекового анализа апатита разновозрастных магматических и метаморфических пород в пределах Кольской части Фенноскандинавского щита Восточно-Европейской платформы, а также из интрузивных комплексов Сибирской трапповой провинции и пород кровли кристаллического фундамента Сибирской платформы в районе Непско-Ботубинской антеклизы. Полученные термохронологические определения впервые сделали возможной разработку модели тектоно-термальной эволюции Сибирской платформы в мезозое и кайнозое, а также Кольской части Фенноскандинавского щита Восточно-Европейской платформы в палеозойское и мезозойское время. Полученные результаты имеют важное фундаментальное и прикладное значение, в частности для оценки углеводородного потенциала структур чехла Сибирской платформы.

Трековый анализ апатита (Apatite Fission-Track, AFT) – метод низкотемпературной термохронологии, который активно используется для решения множества геологических задач: от реконструкции термальной истории отдельных магматических тел до реконструкции термальной истории осадочных бассейнов и крупных блоков земной коры. Он основан на явлении спонтанного деления (расщепления – fission) ядер <sup>238</sup>U с образованием дефектов в кристаллической решетке минералов – треков (рисунок). Трековый анализ выполняется для разных минералов, а наиболее часто для апатита, циркона и титанита.

В отличие от классических методов геохронологии, когда измеренный изотопный возраст чаще всего отвечает времени, прошедшему с момента кристаллизации минерала, методы низкотемпературной термохронологии позволяют оценить, когда исследуемый минерал остыл ниже определенной температуры, значение которой существенно ниже температуры кристаллизации минерала и, в случае методов трекового датирования, варьирует от 120 °С для апатита [3; 9] до ~330–350 °С для циркона [8; 10]. Отличительной особенностью метода трекового анализа является явление частичного отжига треков (температурный интервал в пределах которого треки укорачиваются – «отжигаются»), что позволяет оценить скорость охлаждения





Треки спонтанного деления в кристалле апатита

в температурном интервале зоны частичного отжига треков (Partial Annealing Zone, PAZ), которая для апатита составляет 60–120 °С [9]. Таким образом трековый анализ апатита позволяет оценить не только время с момента остывания апатита ниже 120 °С, но и реконструировать скорость и (в некоторых случаях) количество событий остывания.

Термохронологические исследования, направленные на восстановление термальной истории крупных блоков земной коры, и в частности древних платформ, имеют широкое распространение в мире и, в первую очередь, основаны на использовании трекового анализа апатита и циркона. Низкотемпературные термохронологические исследования могут существенно дополнить представления о тектоно-термальной эволюции древних платформ и их щитов, в пределах которых расположено немало месторождений полезных ископаемых.

Пространственное распределение результатов трековых исследований по континентам крайне неравномерно. Так, для Австралии, которая имеет право претендовать на звание наиболее детально изученного трековым методом континента, имеется более трех тысяч трековых определений, которые позволили оценить скорости охлаждения древних кратонов Пилбара и Йилгарн и выделить относительно молодые этапы тектоно-термальной эволюции ее восточных регионов [4]. Для Северо-Американской платформы, в пределах США, на сегодня имеется около 2000 трековых определений и многочисленные исследования реконструкции термальной истории, позволяющие выделить этапы погружения и последующего воздымания древней платформы в фанерозое [7]. Многочисленные термохронологические исследования с использованием трекового анализа апатита проведены для Фенноскандии в пределах Норвегии, Швеции и Финляндии [5; 6]. За последние годы нами в Центре коллективного пользования Института физики Земли РАН был проведен трековый анализ апатита разновозрастных магматических и метаморфических пород в пределах кольской части Фенноскандинавского щита Восточно-Европейской платформы [11], а также из интрузивных комплексов Сибирской трапповой провинции и пород кровли кристаллического фундамента Сибирской платформы в районе Непско-Ботубинской антеклизы [1; 2]. В нашем докладе мы представим и обсудим имеющиеся низкотемпературные термохронологические данные по Сибирской и Восточно-Европейской древним платформам, а также сформулируем перспективы исследований в этом направлении.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-77-00040, <https://rscf.ru/project/24-77-00040/>.

## Литература

1. Багдасарян Т. Э., Гайдук А. В., Хубанов В. Б. и др. Первые результаты трекового датирования апатита с применением LA-ICP-MS из кровли фундамента Сибирской платформы (Непско-Ботуобинская антеклиза) // Докл. РАН. Наука о Земле. – 2023. – Т. 510, № 2. – С. 161–165.
2. Bagdasaryan T. E., Thomson S. N., Latyshev A. V. et al. Thermal history of the Siberian Traps Large Igneous Province revealed by new thermochronology data from intrusions // Tectonophysics. – 2022. – Vol. 836. – P. 229–385.
3. Gleadow A. J. W. Fission-track dating methods: what are the real alternatives? // Nuclear Tracks. – 1981. – Vol. 5, no. 1–2. – P. 3–14.
4. Gleadow A. J. W., Kohn B. P., Brown R. W. et al. Fission track thermotectonic imaging of the Australian continent // Tectonophysics. – 2002. – Vol. 349, iss. 1–4. – P. 5–21.
5. Green P. F., Japsen P., Bonow J. M. et al. The Post-Caledonian thermo-tectonic evolution of Fennoscandia // Gondwana Research. – 2022. – Vol. 107. – P. 201–234.
6. Hendrik B. W. H., Andriessen P. A. M., Huigen Y. D. et al. A fission track data compilation for Fennoscandia // Norsk Geologisk Tidsskrift. – 2007. – Vol. 87, no. 1. – P. 143–155.
7. Hillenbrand I. W., Thomson K. D., Morgan L. E. USGS Geochron: A Database of Geochronological and Thermochronological Dates and Data (ver. 2.0, September 2023). – U.S. Geological Survey data release, 2023. <https://doi.org/10.5066/99RZNPFI>.
8. Karl M., Glasmacher U. A., Kollenz S. Evolution of the South Atlantic passive continental margin in southern Brazil derived from zircon and apatite (U-Th-Sm) He and fission-track data // Tectonophysics. – 2013. – Vol. 604. – P. 224–244.
9. Ketcham R. A., Donelick R. A., Carlson W. D. Variability of apatite fission-track annealing kinetics: III. Extrapolation to geologic time scales // American Mineralogist. – 1999. – Vol. 84. – P. 1235–1255.
10. Kohn B. P., Ketcham R. A., Vermeesch P. et al. Interpreting and reporting fission-track chronological data // Geological Society of America Bulletin. – 2024. – Vol. 136, no. 9–10. – P. 3891–3920.
11. Veselovskiy R. V., Arató R., Bagdasaryan T. E. et al. New Apatite Fission-Track Data from the Murmansk Craton, NE Fennoscandia: An Echo of Hidden Thermotectonic Events // Minerals. – 2020. – Vol. 10, no. 12. – P. 1095.

## ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ КРУПНЫХ АЛМАЗОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ

Л. Д. Бардухинов, Е. М. Седых, В. Ю. Лодыгина

<sup>1</sup>Вилюйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный,

*bardukhinovld@alrosa.ru*

Образцы для исследования были извлечены при экспериментальном отдельном обогащении руд промышленных кимберлитовых трубок: Айхал в количестве 28 шт., Заря – 3 шт., Юбилейная – 42 шт., Зарница – 9 шт., Удачная – 32 шт., Заполярная – 10 шт., Деймос – 10 шт., Ботуобинская – 30 шт., Нюрбинская – 50 шт., Интернациональная – 50 шт. и россыпей: Нюрбинская (пески) – 20 шт., Водораздельные галечники – 11 шт., отложения р. Ирелях – 45 шт. Для изучения отбирались кристаллы ювелирного (Gem) и околоювелирного (Near Gem) качества. Основные результаты работы приведены в статье [1].

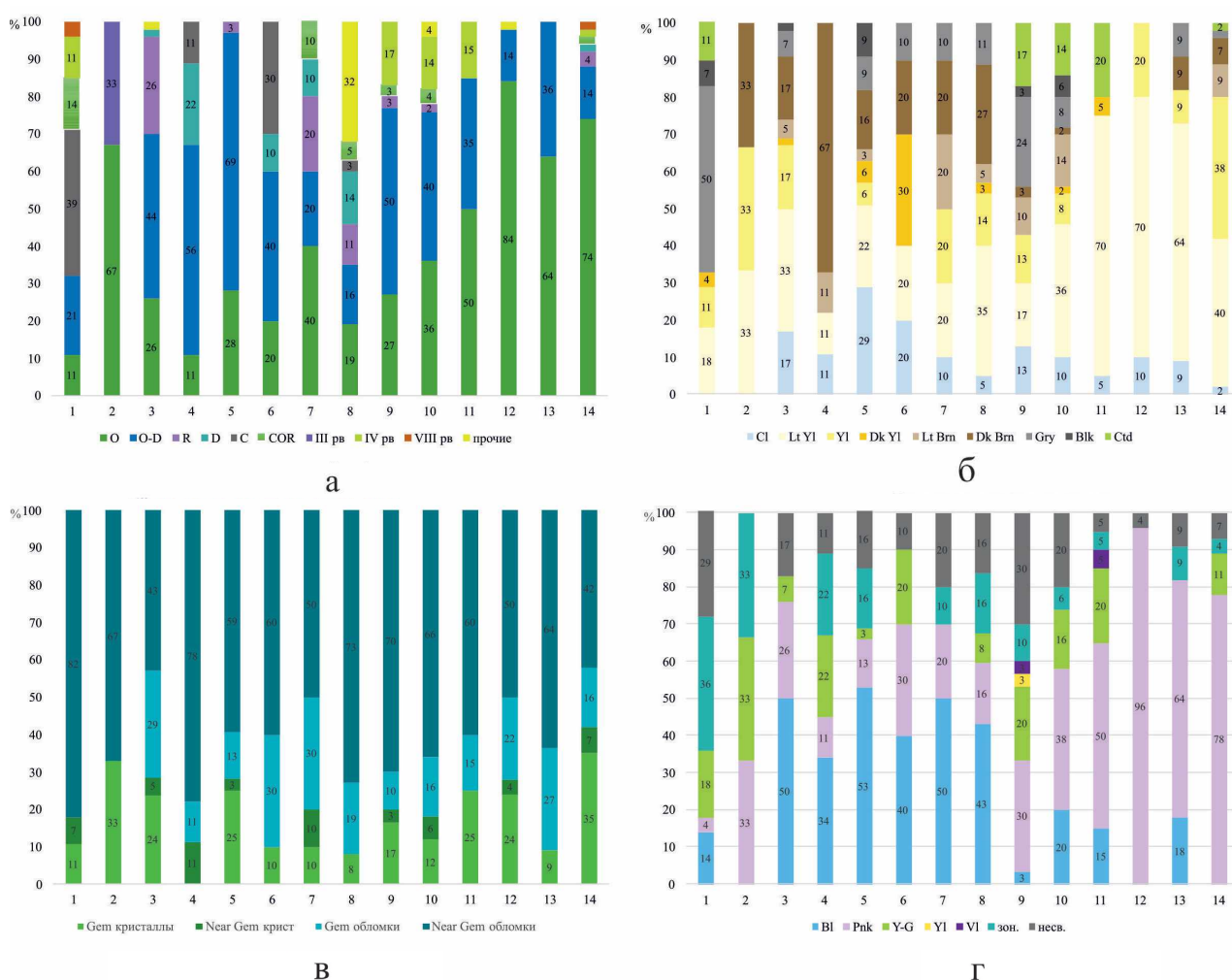
Для анализа типоморфных характеристик алмазов и содержания крупных кристаллов в месторождении взяты результаты изучения алмазов из геологических проб коренных месторождений, при этом крупные алмазы были представлены классом +1,8 карат, в достаточно представительном количественном отношении.

На стоимость алмазов влияют их размер, кристаллографическая форма, наличие дефектов в виде трещин и включений, прозрачность и цвет. Крупные алмазы ювелирного качества отмечены во всех месторождениях, но наиболее высокая доля приходится на россыпные месторождения, что связано с естественной природной сортировкой (рис. 1, в).

Большинство изученных алмазов относится к I разновидности, по Ю. Л. Орлову. Кристаллы алмаза октаэдрической формы были встречены во всех месторождениях, наибольшее количество отмечено в месторождениях Малоботуобинского алмазного района (МБАР). Алмазы переходной формы ряда октаэдр–ромбододекаэдр установлены в 13 из 14 месторождениях (рис. 2, а). Реже встречаются ламинарные ромбододекаэдры, округлые додекаэдроиды, кубы и комбинационные формы. Из других разновидностей по (Ю. Л. Орлову) были выявлены кубы III разновидности (тр. Заря), алмазы в оболочке IV разновидности (трубки Айхал, Ботуобинская и Нюрбинская) и поликристаллические сростки VIII разновидности (тр. Айхал, рос. р. Ирелях).

При визуальном изучении поверхности алмаза описаны различные виды скульптур. Особенно выделяется трубка Нюрбинская (92 % алмазов со скульптурами). Чаще встречаются фигуры травления в виде треугольных впадин (максимальное количество в трубках Нюрбинская, Зарница и Интернациональная), а также «шрамы» – каналы травления различной протяженности и глубины. По количеству шрамов на поверхности доминируют алмазы трубки Айхал и Зарница. Отмечены также четырехугольные впадины (максимальное количество в тр. Айхал), каверны (тр. Заполярная), полосы пластической деформации (тр. Зарница), черепитчатая скульптура (тр. Зарница) и коррозия (рос. Новинка). Наибольшее количество алмазов без скульптур отмечено в тр. Ботуобинская.

Среди крупных алмазов встречаются кристаллы различной окраски: бесцветные, желтые и коричневые разной насыщенности, серые, черные (рис. 2, б). В большинстве месторождений преобладают алмазы желтого ряда, чаще слабонасыщенные. Особенно много таких алмазов в месторождениях МБАР. В трубках Айхал, Ботуобинская и Нюрбинская зафиксированы



**Рис. 1. Основные характеристики изученных крупных алмазов из месторождений Якутии**

1 – тр. Айхал, 2 – тр. Заря, 3 – тр. Юбилейная, 4 – тр. Зарница, 5 – тр. Удачная, 6 – тр. Заполярная, 7 – тр. Деймос, 8 – тр. Новинка, 9 – тр. Ботуобинская, 10 – тр. Нюрбинская, 11 – рос. Нюрбинская-пески, 12 – тр. Интернациональная, 13 – рос. Водораздельные Галечники, 14 – отложения р. Ирелях.

а – габитус: O-октаэдр, O-D-переходная форма ряда октаэдр–додекаэдр, R – ламинарный ромбододекаэдр, D – округлый додекаэдр, C – куб, COR – комбинационная форма, III pв, IV pв, VIII pв – разновидности по Ю. Л. Орлову; б – группы по цвету: Cl – бесцветные, Lt Yl – светло-желтые, Yl – желтые, Dk Yl – насыщенно-желтые, Lt Brn – светло-коричневые, Dk Brn – темно-коричневые, Gry – серые, Blk – черные, Ctd – алмазы в оболочке; в – сортность: Gem – ювелирные алмазы; Near Gem – околуювелирные алмазы; г – цвета фотолуминесценции: Bl – сине-голубой; Pnk – розово-сиреневый; Y-G – желто-зеленый; Vl – фиолетовый.

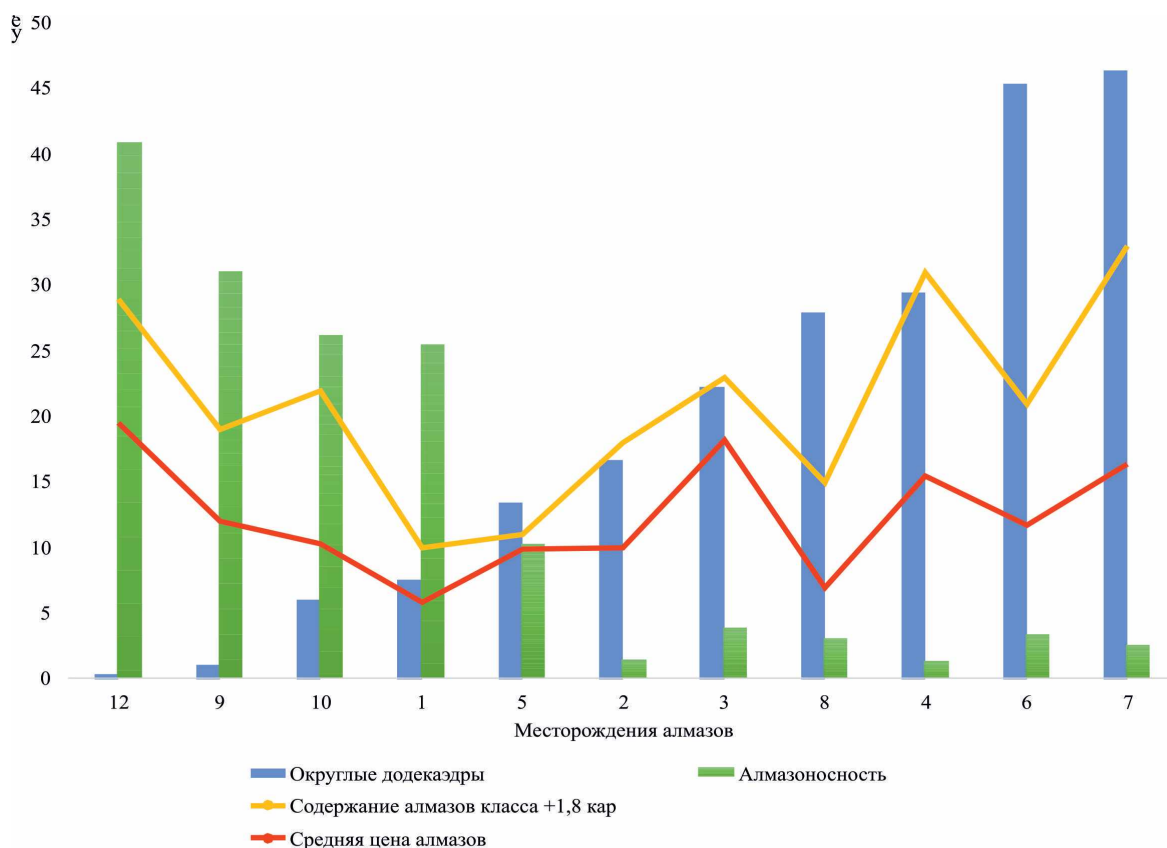
алмазы в оболочке (IV разновидность по классификации Ю. Л. Орлова), с насыщенным желто-зеленым цветом внешней зоны и более светлым ядром.

Большинство крупных алмазов содержит минеральные включения (91 %). Наиболее распространены графит и различные сульфиды, содержащиеся в 83 % изученных алмазов. Включения в алмазах изучались методом КР-спектроскопии.

В КР-спектрах включения графита имеют одну интенсивную полосу около 1580 см, 1- G-полоса. В связи с тем, что нет методики расчета минерального состава сульфидных включений по данным КР-спектроскопии, в работе все сульфидные включения объединены в группу.

Остальные обнаруженные включения представлены как минералами перидотитовой ассоциации (оливин, хромит, малиновый пироп, энстатит), так и эклогитовой (оранжевый гранат, омфацит). В крупных алмазах нами были обнаружены редко встречающиеся включения флогопита. Флогопит в виде кристаллов октаэдрической формы был отмечен в алмазах трубок Юбилейная, Ботубинская, Нюрбинская, Интернациональная и россыпи Водораздельные Галечники. Октаэдрический габитус флогопита, предположительно, связан с наследованием формы минерала-хозяина.

Нами была изучена фотолюминисценция исследуемых алмазов. В изученных алмазах преобладающими цветами фотолюминисценции являются сине-голубой и розово-сиреневый (рис. 1, 2), причем среди алмазов Далдыно-Алакитского и Мунского районов доминируют кристаллы с сине-голубой фотолюминисценцией, а Малоботубинского и Средне-Мархинского – с розово-сиреневой. Такое соотношение алмазов по цветам фотолюминисценции соответствует ранее полученным данным из большого массива мелких алмазов (База данных «RSEARCH – АЛМАЗЫ») геологических проб соответствующих месторождений, а также



**Рис. 2. Корреляционные зависимости основных характеристик алмазов**

Месторождения: см. рис. 1.

Примечание. округлые додекаэдры, %; алмазоносность, кар/т; содержание алмазов класса +1,8 карат в алмазном сырье, %; средняя цена алмазов, \$/кар.

ранее опубликованным работам [5]. В большинстве месторождений были отмечены алмазы с желто-зеленой, фиолетовой и единичный случай с желтой (тр. Ботуобинская) фотолюминесценцией, а также несветящиеся индивиды (максимальное количество в трубках Ботуобинская и Айхал). Отмечены также алмазы с зональным свечением – комбинацией двух цветов фотолюминесценции в разных зонах, однако такие образцы присутствуют не во всех изученных месторождениях.

Статистические результаты по содержанию крупных алмазов (+1,8 карат) показывают, что для высокоалмазоносных месторождений Интернациональная, Ботуобинская, Нюрбинская и Айхал наблюдается обратная корреляция количества округлых алмазов с долей крупных, содержанием и ценой алмазного сырья (рис. 2). Напротив, для остальных рассматриваемых месторождений с повышенной долей додекаэдров прослеживается почти прямая зависимость. Это можно объяснить тем, что процентное содержание округлых додекаэдров, которые являются формой растворения, показывает степень влияния процессов растворения в месторождении – чем больше их количество, тем интенсивнее происходили процессы и тем меньше алмазного сырья наблюдается в трубке. Так как растворению без остатка, в первую очередь, подвергаются мелкие алмазы, то меняется распределение кристаллов по классам крупности в пробе, вследствие чего закономерно возрастает доля крупных алмазов по отношению к остальным классам крупности. Средняя цена алмазов по месторождениям зависит от многих факторов – форма кристаллов, наличие дефектов, цветовые характеристики. Однако распределение по крупности – самый важный фактор, влияющий на стоимость алмазного сырья. На рис. 2 прослеживается прямая зависимость средней цены алмазов от количества крупных кристаллов в изучаемых месторождениях. Несколько искажают картину показатели трубок Ботуобинская и Юбилейная вследствие высокого качества и стоимости алмазов крупных классов, резко повышающих среднюю цену алмазного сырья.

Таким образом, определены типоморфные особенности изученных алмазов для тел с различным содержанием и качеством алмазного сырья. Среди алмазов геологических коллекций для кимберлитовых тел установлено широкое распространение октаэдров с высокой долей крупных алмазов. С понижением содержания крупных алмазов в кимберлитах растет доля переходных форм и округлых додекаэдров.

### Литература

1. Бардухинов Л. Д., Седых Е. М., Евстратов А. А. и др. Первые результаты изучения крупных алмазов из промышленных месторождений Якутии // Геология рудных месторождений. – 2024. – Т. 66, № 4. – С. 362–373.
2. Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. Алмазы из низкопродуктивных кимберлитов // Руды и металлы. – 2022. – № 1. – С. 77–93.
3. Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. Алмазы из полупромышленных кимберлитов // Вестник Воронежского государственного университета. – Сер. геология. – 2022. – № 2. – С. 32–45.
4. Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. О специфике докембрийских источников алмазов в россыпях // Вестник Пермского университета. Геология. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 149–166.
5. Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д. О специфике изучения алмаза при прогнозно-поисковых работах (на примере Сибирской платформы) // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С. 59–75.

## ОСОБЕННОСТИ ОПТИКО-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРУПНЫХ АЛМАЗОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЯКУТИИ

Л. Д. Бардухинов, В. Ю. Лодыгина

<sup>1</sup>Вилуйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), Мирный, ardukhinovld@alrosa.ru

Образцы для исследования были извлечены при экспериментальном раздельном обогащении руд промышленных кимберлитовых трубок: Айхал в количестве 28 шт., Заря – 3 шт., Юбилейная – 42 шт., Зарница – 9 шт., Удачная – 32 шт., Заполярная – 10 шт., Деймос – 10 шт., Ботуобинская – 30 шт., Нюрбинская – 50 шт., Интернациональная – 50 шт. и россыпей: Нюрбинская

(пески) – 20 шт., Водораздельные Галечники – 11 шт., отложения р. Ирелях – 45 шт. Алмазы индустриальной серии (Boart) не вошли в коллекцию для изучения, отбирались только кристаллы ювелирного и околоювелирного качества. Основные результаты работы приведены в статье [1].

ИК спектроскопические исследования (съемка инфракрасных спектров) алмазов проводились на ИК-Фурье спектрометре Bruker VERTEX 70 в комплексе с ИК-микроскопом Nuregon 2000. Диапазон измерений: 400–5500  $\text{см}^{-1}$ . Была выполнена съемка интегральных (со всего объема кристалла) спектров. Нормирование спектров осуществлялось по поглощению в двухфоновой области. По спектрам определялись концентрации C-, A-, B1-, B2-дефектов алмазов. Коэффициенты поглощения на частотах 1973 и 2500  $\text{см}^{-1}$ , соответственно,  $\alpha_{1973} = 12,5 \text{ см}^{-1}$  и  $\alpha_{2500} = 4,9 \text{ см}^{-1}$  были выбраны в качестве параметров внутреннего стандарта.

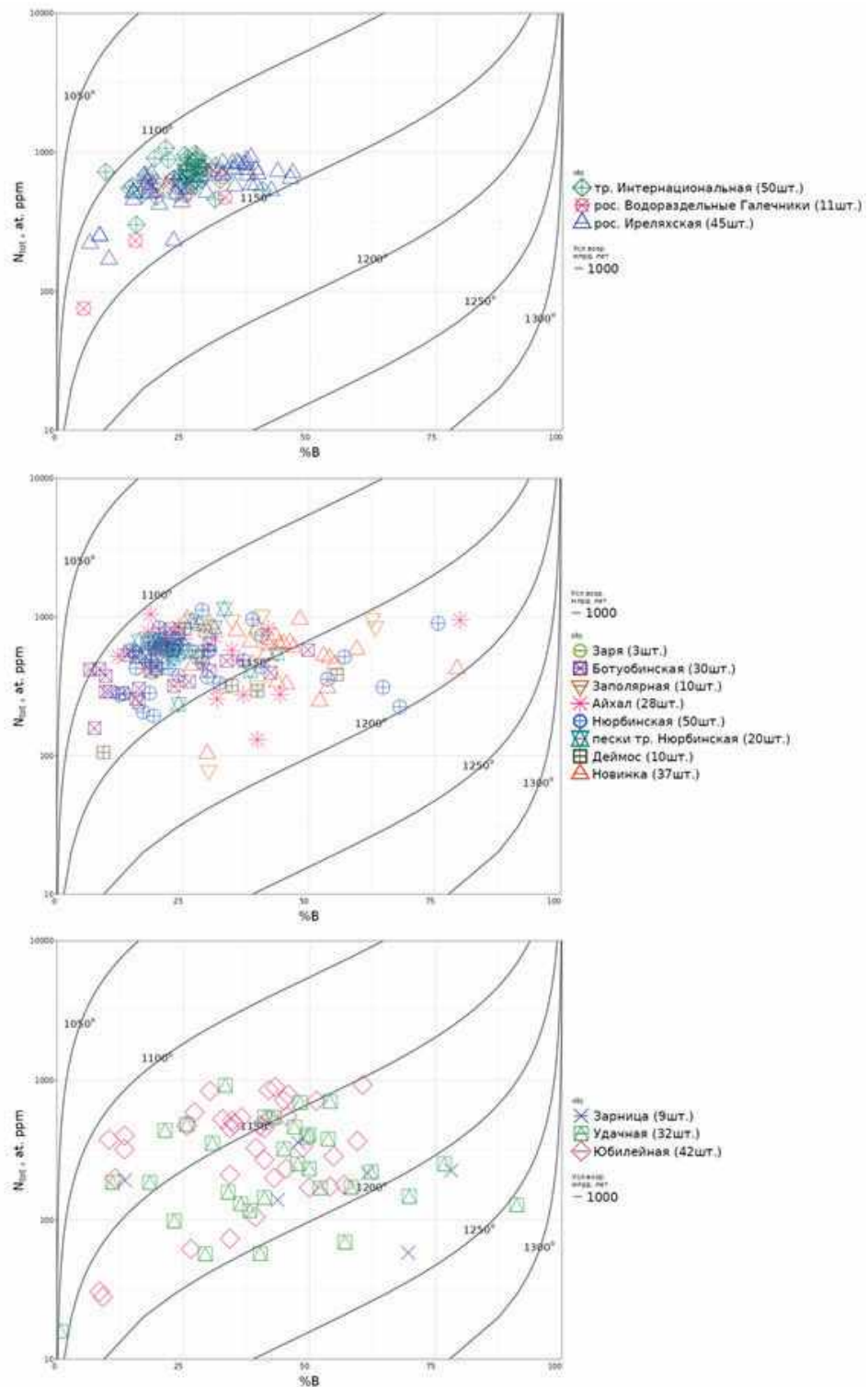
Идентификация минеральных включений проведена методом комбинационного рассеяния (Рамановская спектроскопия).

В целом содержание общего азота в крупных алмазах находится в широком диапазоне и варьируется от 0 до 1142 at. ppm (рис. 1). Преобладают кристаллы со средней концентрацией структурного азота 400–950 at. ppm и агрегаций 20–40 %. При этом в выборках из месторождений Далдыно-Алакитского (ДААР), Среднемархинского (СМАР) и Мунского (МАР) алмазных районов обнаружено 19 безазотных алмазов ( $N_{\text{tot}}$  менее 25 at. ppm), представленные ламинарными ромбододекаэдрами, переходными формами и кубическим габитусом I разновидности, по Ю. Л. Орлову

На диаграмме распределения алмазов по концентрации суммарного азота ( $N_{\text{tot}}$ ) и степени агрегации (B %) (рис. 1) месторождения ДААР образуют обширное облако точек, что может указывать на формирование таких алмазов в результате нескольких этапов алмазообразования.

Как видно из рис. 1, содержание крупных алмазов в месторождении коррелирует с уровнем агрегации азота алмазов, зависящей от особенностей роста или постростовых изменений алмаза. В то же время, крупные алмазы из СМАР и МБАР на диаграмме (рис. 1) достаточно плотно сгруппированы, в частности данные по алмазам из тр. Интернациональная практически одинаковые, что свидетельствует об единых температурно-временных параметрах и мантийных условиях образования алмаза. Таким образом, можно предположить, что наиболее продуктивными на крупные алмазы являются те месторождения, в которых большинство алмазов принадлежат к одной популяции – среднеазотным низкоагрегированным алмазам (температуры формирования алмаза  $\sim 1100 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

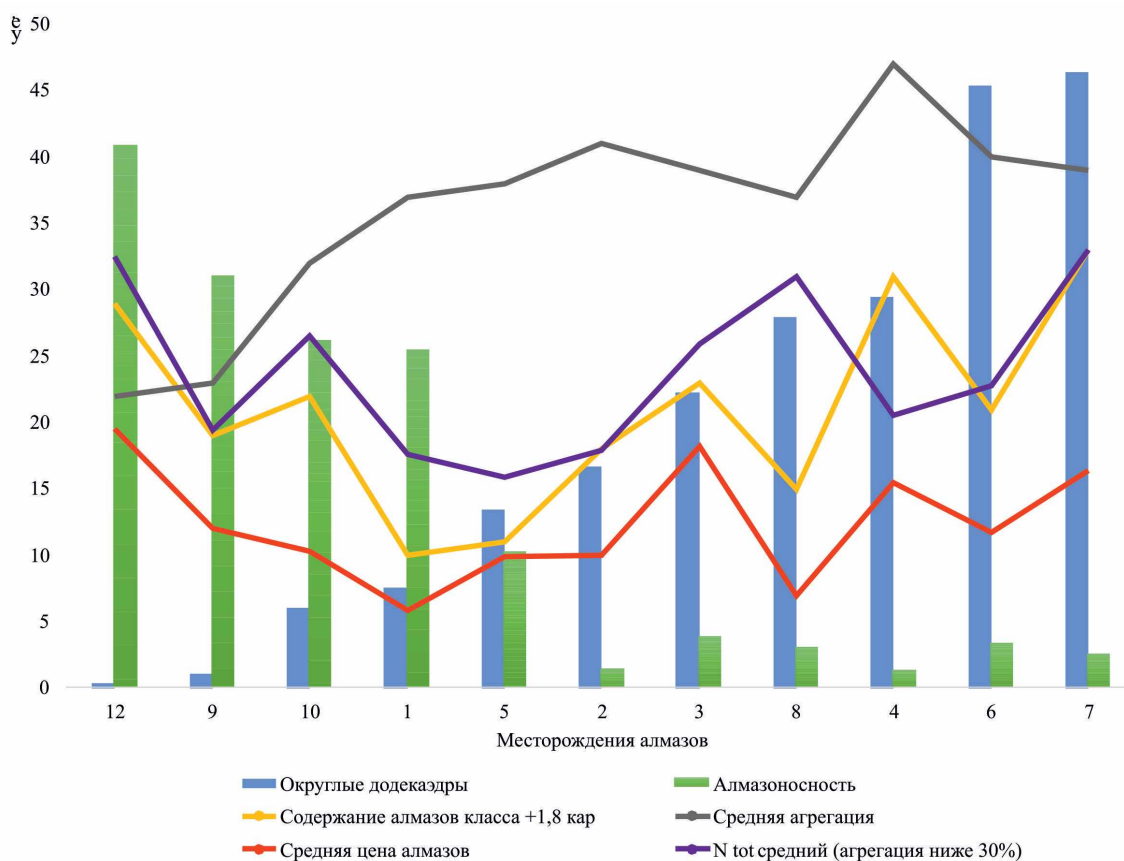
Отличительной особенностью изученных алмазов является очень низкая интенсивность или полное отсутствие линии 3107  $\text{см}^{-1}$  в ИК-спектрах, которую обычно связывают с примесью водорода, в виде дефекта VN3H [4]. В наших исследованиях только для 11 кристаллов зафиксированы коэффициенты поглощения более 2  $\text{см}^{-1}$ , при этом установлено, что в одном кристалле интенсивность полосы 3107  $\text{см}^{-1}$  достигала 4,9  $\text{см}^{-1}$ . Новые исследования водородсодержащих центров современными методами SIMS (масс-спектрометрия вторичных ионов) показали, что только часть водорода находится в оптически-активной форме и может быть определена спектральными методами [2]. В то же время в работах [3] концентрацию водородсодержащих дефектов, определенную методом ИК спектроскопией, связывают с механизмами роста и мантийными условиями алмазообразования. Экспериментально установлено, что при определенных условиях образование алмаза происходит в результате реакции диссоциации метана, побочным продуктом данного процесса является водород [5], который может входить в структуру алмаза, что, с учетом наших данных о низком содержании водорода в крупных алмазах, свидетельствует о неблагоприятном факторе наличия повышенных концентраций водорода при алмазообразовании крупных индивидов. На этом основании можно сделать вывод о том, что повышенные значения концентрации водорода в алмазах не только отрицательно сказываются на общей алмазности месторождения, но и в целом контролируют снижение содержания крупных алмазов.



**Рис. 1. Распределение значений концентрации суммарного азота ( $N_{tot}$ ) и степени агрегации азота ( $B\%$ ) в крупных алмазах из промышленных месторождений Якутии:**

Значения нанесены на диаграмму Тейлора (Taylor, 1990). Месторождения сгруппированы по трем диаграммам с учетом вариации примеси азота (от узкой до широкой)

На рис. 2 вынесены усредненные данные по общему содержанию азота и его агрегации (База данных «RSEARCH – АЛМАЗЫ»), а также содержание крупных алмазов класса +1,8 карат, достаточно представительного в количественном отношении. Как видно из рисунка, с ростом содержания азота в алмазах увеличивается доля крупных алмазов в месторождении. Напротив, по агрегации азота в алмазах, как показателя постростовой истории, отмечена отрицательная зависимость с содержанием крупных алмазов.



**Рис. 2. Корреляционные зависимости основных характеристик алмазов:**

1 – тр. Айхал, 2 – тр. Заря, 3 – тр. Юбилейная, 4 – тр. Зарница, 5 – тр. Удачная, 6 – тр. Заполярная, 7 – тр. Деймос, 8 – тр. Новинка, 9 – тр. Ботуобинская, 10 – тр. Нюрбинская, 11 – рос. Нюрбинская-пески, 12 – тр. Интернациональная, 13 – рос. Водораздельные Галечники, 14 – отложения р. Ирелях

Примечание: округлые додекаэдры, %; алмазоносность, кар/т; содержание алмазов класса +1,8 карат в алмазном сырье, %; средняя цена алмазов, \$/кар; Ntot средний, ат. ppm – усредненное содержание азота в алмазах; средняя агрегация, % – усредненная агрегация примеси азота

В то же время, на примере месторождений Мунского района (трубки Деймос, Заполярная и Новинка) отчетливо наблюдается обратная зависимость концентрации азота и алмазоносности в связи с тем, что именно в этих кимберлитовых телах значительно выше доля округлых алмазов, отражающая степень воздействия на алмазы процессов растворения и, соответственно, специфичные условия эволюции алмазов данных месторождений. В этом ключе месторождения Деймос, Заполярная и Новинка представляют особый интерес, так как при низкой суммарной алмазоносности в них часто находят крупные и особо крупные (более 50 карат) алмазы.

Для большинства кимберлитовых трубок, где доля среднеазотных (500–800 ppm) низкоагрегированных (до 30 %) кристаллов повышена (более 50 %) в сочетании с пониженным содержанием примеси водорода ( $N_{\text{ср}}$  до  $1,5 \text{ см}^{-1}$ ) и округлых додекаэдров (менее 20 %), можно ожидать наличие крупных алмазов. Наряду с этим, для кимберлитов с высоким содержанием округлых алмазов (более 20 %) и повышенным усредненным значением азота (для группы низкоагрегированных алмазов) также существует вероятность обнаружения крупных кристаллов, что, по нашему мнению, связано с процессами природного растворения мелких кристаллов. В таких месторождениях возрастает количество алмазов крупных классов в добытой партии и, соответственно, средней цены за карат алмазного сырья. Именно поэтому добыча алмазного сырья из месторождений с низкой (убогой) алмазоносностью (трубки Зарница, Деймос) рентабельна за счет повышенной доли алмазов крупных классов.



## Литература

1. Бардухинов Л. Д., Седых Е. М., Евстратов А. А. и др. Первые результаты изучения крупных алмазов из промышленных месторождений Якутии // Геология рудных месторождений. – 2024. – Т. 66, № 4. – С. 362–373.
2. Каминский Ф. В., Шилобреева С. Н., Бер Б. Я. и др. Количественное определение водорода в природном алмазе с использованием масс-спектрометрии вторичных ионов (SIMS) // Докл. РАН. Науки о земле. – 2020. – Т. 494, № 1. – С. 43–48.
3. Хачатрян Г. К., Анашкина Н. Е. Соотношение между распределением структурных примесей в кристаллах алмаза и алмазонасностью кимберлитовых трубок (на примере Архангельской области и Якутии) // Руды и металлы. – 2021. – № 3. – С. 114–130.
4. Goss J. P., Briddon P. R., Hill V. et al. Identification of the Structure of the 3107 cm<sup>-1</sup> N-related Defect in Diamond // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2014. – Vol. 26, no. 14. – 145801.
5. Sokol A. G., Tomilenko A. A., Bul'bak T. A. et al. Carbon and Nitrogen Speciation in N-poor C-O-H-N Fluids at 6.3 GPa and 1100–1400 °C // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7, iss. 1. – P. 1–19.

## ПРОБЛЕМЫ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ДОБЫЧИ ИЗУМРУДНОГО СЫРЬЯ В РОССИИ

М. В. Бондаренко, Е. А. Тихонова, Ю. А. Ермаков

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва,  
mashkabond201581@yandex.ru*

Изумруды играют значимую роль в ювелирной сфере, так как являются драгоценными камнями наравне с алмазами. Россия обладает одним из крупнейших запасов изумрудов в мире. Однако, несмотря на свою значимость, добыча изумрудного сырья в России убыточна и требует усовершенствования технологий разведки, добычи и сбыта этого уникального продукта.

Коренные месторождения изумрудов России расположены в пределах изумрудоносной полосы Урала – это так называемые Изумрудные копи [1]. Все 16 известных на данный момент российских месторождений изумрудов компактно расположены в районе г. Асбест Свердловской области на площади 50 км<sup>2</sup>. Разработка ведется с 1831 г.

Государственным балансом запасов на 01.01.2023 г. учитываются шесть месторождений изумруда. Из них разрабатывается только Мариинское (бывш. Малышевское), Свердловское подготавливается к освоению, остальные учитываются в Нераспределенном фонде недр.

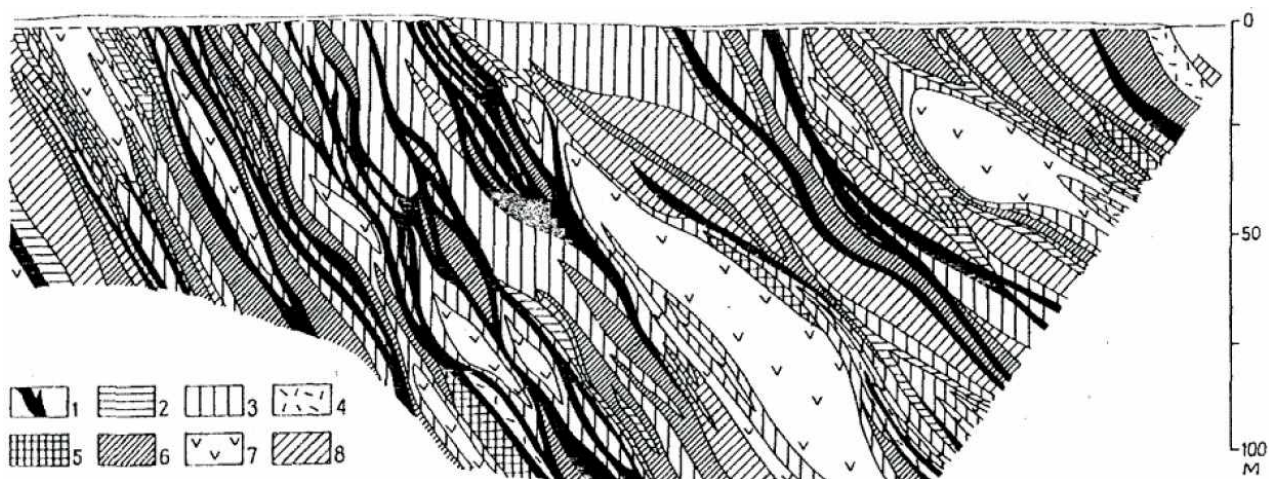
На Мариинском месторождении выделяются три тектонических разлома, контролирующих размещение изумрудоносных слюдитов, окруженных тальковыми сланцами (рисунок) с экранной ролью диоритовых даек для рудоносных флюидов, поднимающихся от погребенных гранитов Адлуйского массива.

Мариинское месторождение входит в Центральную свиту рудной зоны, которая является самой крупной по запасам бериллиевой руды (67 %) и изумрудов (91 %). Основная масса изумруда и берилла приурочена к флогопитовой зоне [1].

Разведанные запасы составляют ~11 млн т изумрудно-бериллиевой и бериллиевой руды, суммарно содержащей ~55 т изумрудного сырья и ~15,6 тыс. т оксида бериллия, что обеспечивает работу крупного ГОКа на 200 лет вперед.

Около 5 % изумрудов, добываемых на Урале на Мариинском прииске, имеют высочайшее качество, которое ставит их на один уровень с колумбийскими самоцветами. Также на месторождении попутно извлекаются александриты и фенакиты ювелирного качества.

Компания, занимающаяся добычей на Мариинском месторождении, является АО «Мариинский прииск». Основная задача компании на данный момент – развитие технологий в сфере добычи минерального сырья, его обработки и сбыта. Требуется обновление оборудования, постройки новых стволов шахт, а также строительство дополнительных обогащательной и изумрудоизвлекающей фабрик. Также затратна система отработки нисходящими слоями с заполнением пустот цементно-песчаной смесью с целью обеспечения безопасности поселка, который находится над шахтой.



**Рис. 1. Обобщенный геологический разрез Малышевского месторождения изумруда и берилла:**  
 метасоматические зоны: 1 – плагиоклаз-флогопитовая, 2 – актинолитовая, 3 – хлоритовая, 4 – тальковая, 5 – амфиболовые сланцы и метабазиты, 6 – диоритовые порфириды, 7 – серпентиниты, 8 – углистые кварциты и сланцы

Общие инвестиции в прииск оцениваются в 21,8 млрд руб., из которых 9,2 млрд руб. будет направлено на осуществление капитальных вложений, 7,3 млрд руб. – на рост оборотного капитала, а 5,4 млрд руб. – на финансовую устойчивость в период до выхода на прибыль [3].

**Цели.** Разработка проекта вскрытых и подготовленных запасов Мариинского месторождения.

Переквалификация и подготовка кадров для изумрудоизвлекающей фабрики для максимальной загрузки существующих производственных мощностей по выпуску ИПС.

Документация новых разрабатываемых стволов скважин.

**Развитие.** Для развития требуется построить комплексную (на бериллиевый и изумрудные концентраты) обогатительную фабрику на земельном участке, непосредственно примыкающем к территории изумрудоизвлекающей фабрики, что обеспечит наименьшие расходы при последующей эксплуатации [4].

**Пути решения проблемы.** Для повышения эффективности добычи изумрудного сырья в России необходимо следующее.

**Научные исследования и инновации** в области геологии и технологии переработки минералов будут способствовать увеличению производительности и снижению затрат.

**Устойчивое развитие** с учетом экологических аспектов добычи – заполнение отработанных шахтных пустот под поселком городского типа Малышевское.

**Развитие интенсификации добычи ИПС и выход на рынок бериллия.** Этим достигается прибыльность компании в долгосрочной перспективе (благодаря высоким ценам на бериллий на мировом рынке). При данном сценарии обеспечивается наиболее полное освоение запасов месторождения и максимизация акционерной стоимости предприятия с увеличением выручки компании АО «Мариинский прииск» на 2500 % до 4 млрд руб. [5]. Такой подход поможет компании остаться на мировом рынке даже после введения внешних санкций на экспорт изумрудного сырья.

**Заключение.** Проблема нерентабельности добычи изумрудного сырья в России имеет широкий спектр причин, требующих комплексного подхода к ее решению. Инвестиции в инфраструктуру, образовательные среды и научные исследования позволят не только увеличить объемы добычи и переработки, но и улучшить ситуацию в экономике страны в целом.

Реализация предложенных мер потребует сотрудничества государственных органов, бизнеса и научных учреждений.

## Литература

1. Самсонов Я. П. Самоцветы России и сопредельных государств – М., 1993. – 280 с.
2. Левин В. Я., Катькалов А. В., Ласковенков А. Ф. Малышевское месторождение // GeologyScience.ru. – 2023. URL: [http://wiki.geologyscience.ru/index.php/Малышевское\\_месторождение](http://wiki.geologyscience.ru/index.php/Малышевское_месторождение) (дата обращения: 01.01.2024).
3. Изумруды различных месторождений мира: диагностика географического происхождения // Gemcenter. 2020. – URL: <https://www.gem-center.ru/labnotes-emerald-deposits.htm> (дата обращения: 01.01.2024).
4. Создание производства металлического бериллия на АО «Мариинский прииск». – М. ; Малышева, 2019 – URL: <https://www.investinregions.ru/upload/iblock/7f3/marmine.pdf> (дата обращения: 01.01.2024).
5. АО «Мариинский прииск»; анализ НПО Конверсия

## МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ГЕОХИМИЯ ХРОМИТИТОВ ЮЖНОГО САРАНОВСКОГО МАССИВА, ПЕРМСКИЙ КРАЙ

Д. М. Вурмс

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, [vurms@list.ru](mailto:vurms@list.ru)*

Сегодня существует проблема, связанная со Стратегией формирования минерально-сырьевой базы РФ, учитывающей хром. Хром Распоряжением Правительства РФ от 16.04.2024 г. № 939-р отнесен к дефицитным полезным ископаемым, его импорт ежегодно возрастает.

В связи с этим была поставлена задача изучить состав хромититов месторождений Южного Сарановского массива.

Сарановский комплекс был открыт в 1932 г., а его промышленная разработка началась в 1937 г. С тех пор он стал одним из важнейших источников хромитовой руды в стране [1; 2]. В комплекс входят Сарановский и Южный Сарановский массивы, к которым приурочен ряд коренных и россыпных месторождений хромита.

Руда, добываемая на Сарановских месторождениях, отличается высоким качеством и большим содержанием хрома. Это делает ее ценным ресурсом для различных отраслей промышленности, включая металлургию и химическую.

Южный Сарановский массив находится непосредственно к северу от ст. Лаки, в 5 км южнее пос. Сараны Горнозаводского района Пермского края. Форма выхода массива на поверхность – пережатая дайка с двумя раздувами по концам. Мощность северного раздува – 160 м, южного – 120 м, в пережиме – 20–40 м. Массив имеет крутое общее восточное падение, разбит на серию блоков, перемещенных на расстояние до 70 м и прослежен без уменьшения мощности до глубины 700 м.

Массив сложен чередованием пластов ультрамафитового состава, считающихся производными преимущественно дунитов. Хромититы образуют три линзовидных тела вдоль восточного контакта. Ранее они отрабатывались открытым способом рудниками с севера на юг: Любушкина, Большой Пестерь и Бисертский [1]. В настоящее время ведется опытно-промышленная отработка месторождения Малый Пестерь, подготавливаемого к освоению.

Методами растровой электронной микроскопией и рентгеноспектральным микроанализом изучен состав хромититов с отвалов рудников Бисертский (9 образцов) и Большой Пестерь (7 образцов) Южного Сарановского месторождения, при помощи электронного сканирующего микроскопа LEO 1430VP.

В образцах проанализированы 75 силикатных включений в 52 зернах хромита. Включения сложены амфиболами, хромсодержащим хлоритом, альбитом, аспидолитом, хромовым глаголевитом и флогопитом, апатитом и хлорапатитом, оливином, доломитом, диопсидом, жадеитом, ильменитом, магнезитом, миллеритом, пентландитом, псиломеланом, рутилом, серпентином, титанитом, хроммагнетитом, цирконом.

Трещины в хромитите выполнены хромсодержащими хлоритом и серпентином. Интерстиции зерна слагаются в основном хлоритом, в том числе с примесью хрома, серпентина.

Элементный состав хромититов

№ п/п	Шифр	Sm	Ce	Ca	Lu	U	Cr	Yb	As	Cs	Sc	Fe	Zn	Co	Na	Eu	La	Sb
1	S-1-21						196874,1				8,35	13,34		209,6				0,282
2	S-1/1-21						214123,6				8,39	14,35	264,6	218,2			0,251	1,971
3	S-4/7-21	0,699	88,83				117579,6				8,86	10,87	267,0	195,5			0,740	0,725
4	S-1/2-21						192710,2		16,85		8,08	14,01	382,2	257,9				4,716
5	S-2/2-21	0,460					142746,5		37,10		7,04	11,88	172,8	248,1				1,804
6	S-1/4-21						197171,5				8,83	13,52	257,5	208,1				1,879
7	S-4/2-21						222427,4				8,65	16,77	352,9	243,5				0,373
8	S-1/3-21						175461,2		39,38		7,90	13,35	77,2	220,3				1,849
9	S-2-21	0,163	2,47	1,54	0,008	0,177	3497,2	0,223	3,85	0,482	9,61	3,27		65,6	0,011	0,199	0,648	0,396
10	S-4/10-21						191112,6				8,90	13,73	213,3	225,4				1,640
11	S-4/8-21						176954,7				8,59	13,28	76,5	213,7				1,344
12	S-4/6-21						212348,4				9,26	15,40	573,8	227,3			0,362	1,435
13	S-1/5-21						180222,8				7,31	17,07	515,0	283,3			0,409	0,831
14	S-4/1-21						161165,0				9,52	14,35	263,0	237,0				0,294
15	S-2/8-21	0,318					193710,1				9,03	13,51	257,1	227,1				4,589
16	S-4/5-21						164432,5				8,95	18,75	661,0	267,0				0,568

Встречаются титанит, высокохромистый ксеноморфинный хромит с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 64 % и  $\text{FeO}$  до 30 %, рутил, ильменит, апатит (иногда с Sr), хроммагнетит, пентландит, магнезит, смесь гётита и брусита. Наиболее распространенный сульфид – миллерит замещается вторичными силикатами.

С помощью инструментального нейтронно-активационного анализа, выполненного в ядерно-геохимической лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» имени Л. П. Рихванова Томского политехнического университета, установлен элементный состав хромитов (таблица).

Данные о минеральном составе включений и элементном спектре хромитов позволяют делать вывод, что руды имеют практически чистый состав, нет сильно выраженных примесей, и легко могут использоваться в дальнейшем.

Согласно современной классификации [3], хромшпинель на Южном Сарановском массиве ( $\text{Fe}_{0,45-0,5}\text{Mg}_{0,5-0,58}\text{Cr}_{1-1,3}\text{Al}_{0,45-0,5}\text{Fe}_{0,15-0,4}\text{O}_4$ ), должна быть отнесена к хромит-магнезиохромиту.

### Литература

1. Иванов О. К. Расслоенные хромитоносные ультрамафиты Урала. – М. : Наука, 1990. – 243 с.
2. Иванов О. К. Минералогия Сарановского хромитового месторождения, Урал // Минералогический альманах. Т. 21, вып. 2. – М. : «Минералогический альманах», 2016. – 128 с.
3. Bosi F., Biagioni C., Pasero M. Nomenclature and classification of the spinel supergroup // European Journal of Mineralogy. – 2019. – Vol. 31, no. 1. – P. 183–192.

## ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ ШУМШУ-ПАРАМУШИРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)

К. А. Грибушин

*Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук,  
Петропавловск-Камчатский, konst.gribushin@yandex.ru*

С островными дугами связано множество месторождений различных геолого-генетических типов, важную роль среди которых играют эпитермальное золото-серебряные месторождения [9]. На сегодня в пределах южного сегмента Курильской гряды известны два месторождения – Прасоловское (о. Кунашир) и уже отработанное месторождение Купол на о. Уруп [2; 4]. Эпитермальное месторождения золота и серебра широко распространены в пределах п-ова Камчатка [6]. Подобные объекты также встречаются и на островах центрального и северного сегментов Большой Курильской гряды, в частности на островах Шумшу и Парамуши (рисунок).

При поисках и прогнозировании, а также оценке перспектив уже известных месторождений важной является геолого-генетическая типизация, которая в настоящее время требует актуализации для золото-серебряных объектов Шумшу-Парамуширского рудного района. Наиболее перспективные проявления золота и серебра распространены в пределах Кошкинского (о. Шумшу), Рифового и Васильевского (о. Парамушир) рудных полей (рисунок) [3]. Опираясь на опубликованные материалы и полевые наблюдения, авторы определили геолого-генетические типы исследуемых проявлений в соответствии с современной классификацией золото-рудных месторождений.

**Структурное положение.** Золото-серебряные рудопроявления ассоциируют с субвулканическими образованиями миоцен-плиоценового возраста плутоногенно-субвулканической формации кварцевых диоритов в пределах вулcano-тектонических структур центрального типа [2]. Рудовмещающими породами являются как сами субвулканические тела, так и покровные вулканы и их пирокластические аналоги среднего–кислого состава [3]. Рудные тела приурочены к зонам дробления и разрывным нарушениям [3].



**Обзорная карта расположения рудных полей и проявлений золота:**

1 – рудные поля (1– Кошкинское, 2 – Рифовое, 3 – Васильевское); 2 – золото-серебряные рудопроявления

**Гидротермальные образования.** Для Кошкинского и Рифового рудных полей наиболее характерными являются пропилиты, аргиллизиты, адуляр- и баритсодержащие вторичные кварциты, последовательно сменяющие друг друга от периферии к центру соответственно [5; 7]. Золото-серебряное оруденение здесь связано с линейными крутопадающими телами вторичных кварцитов, зонами прожилкования и брекчирования.

В пределах Васильевского рудного поля широко развиты хлоритизированные, пиритизированные породы. Золото-серебряная минерализация связана с телами диаспор-серицитовых и алунитовых (с самородной серой) вторичных кварцитов [5].

**Минеральный состав руд.** Рудная минерализация проявлений Кошкинского рудного поля относится к золото-арсенидно-кварцевому типу. Вторичные кварциты и зоны прожилкования содержат 3–5 % пирита, галенита, сфалерита, реальгара и самородной сурьмы, основные жильные минералы – кварц, адуляр, барит [2; 5]. Золото встречено в самородном виде, известна единичная находка калаверита [2; 3]. Руды имеют метаколлоидную, колломорфно-полосчатую и брекчиевую текстуру [2].

Рудная минерализация проявлений Рифового рудного поля относится к золото-сульфидно-кварцевому минеральному типу. Жилы содержат от 1–3 до 90 % сульфидов – пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, основные жильные минералы – кварц, адуляр, барит [2]. Пробность золота варьируется от 820 до 870 ‰ [2]. Текстуры руд полосчатые, метаколлоидные, брекчиевые.

В пределах Васильевского рудного поля развивается сульфоарсенидно-кварцевая минерализация. Главные рудные минералы здесь представлены пиритом, энаргитом, кестеритом, луцонитом, основные нерудные минералы – кварц, алунист, самородная сера [2; 5]. Характерные текстуры руд – гнездово-вкрапленная, брекчиевая.

**Геолого-генетический тип.** Все рассмотренные объекты связаны с палеовулканической активностью, что позволяет классифицировать их как вулканогенно-гидротермальные. Рудопроявления в пределах Кошкинского и Рифового рудных полей можно отнести к эпитептермальным

адуляр-серцитовому типу (Low sulfidation), об этом свидетельствует широко проявленный калиевый метасоматоз, в частности наличие адуляра – типоморфного для подобных месторождений [8; 10], морфология рудных тел, представленных линейными телами кварцитов и зон прожилкования, метаколлоидные и колломорфно-полосчатые текстуры.

В свою очередь на проявлениях Васильевского рудного поля продуктивная золото-серебряная минерализация связана с алуниновыми вторичными кварцитами, морфология рудных тел невыраженная, широкое распространение имеют гнездово-вкрапленные руды с характерными для кислотно-сульфатного типа (High sulfidation) минералами – энаргитом и луцитом [8; 10].

*Работа выполнена в рамках Государственного задания Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН «Геохимия продуктов современной вулканической и поствулканической деятельности» (FWME-2024-0013 под руководством А. А. Нурждаева), утвержденного Минобрнауки России (тема № 124080600037-9).*

### Литература

1. Бортников Н. С., Толстых Н. Д. Эпитермальные месторождения Камчатки, Россия // Геология рудных месторождений. – 2023. – Т. 65, № 7. – С. 722–752.
2. Данченко В. Я. Золото-серебряная минерализация Большой Курильской гряды. – Южно-Сахалинск : Препринт, 1990. – 63 с.
3. Евсеев В. Ф. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Серия Курильская. Листы М-56-ХII, ХVII, ХVIII, ХХIII, ХХIV, М-57-VII, ХIII (о. Парамушир); М-56-ХХIII, ХХIX (о. Онекотан); М-56-ХХVIII, ХХIX, ХХХIV, ХХХV (о. Шиащкотан); М-56-ХХХIII, ХХХIV, L-56-III, IV (о. Матуа); L-56-II, III, VII, VIII, IX. (о. Симушир). Объяснительная записка. – СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2001. – 123 с.
4. Кириллов В. Е., Горошко М. В. Золотоносность острова Уруп Большекурильской островной гряды // Региональные проблемы. – 2008. – № 9. – С. 50–55.
5. Науменко Б. А. Закономерности размещения и комплексная оценка перспектив золотого оруденения Сахалинской области (отчет), 2000. – 301 с.
6. Петренко И. Д. Золото-серебряная формация Камчатки. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 1999. – 166 с.
7. Суворова Т. Н., Речкин А. Н., Чайникова А. А. и др. Отчет о результатах поисковых работ на золото в пределах Кошкинской площади Шумшу-Парамуширского рудного района, о. Шумшу (Сахалинская область), 2019. – 142 с.
8. John D. A., Vikre P. G., du Bray E. A., et al. Descriptive models for epithermal gold-silver deposits // U.S. Geological Survey. Scientific Investigations Report. – 2018. – 247 p.
9. Frimmel H. E. Earth's continental crustal gold endowment // Earth and Planetary Science Letters. – 2008. – Vol. 267, no. 1–2. – P. 45–55.
10. White N. C., Hedenquist J. W. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration // SEG Newsletter. – 1995. – No. 23. – P. 9–13.

## АНАЛИЗ СОСТАВА ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ АППАРАТУРЫ ПОРТАТИВНОЙ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Е. Г. Еременко, А. И. Несмеянова, А. В. Саранчин

*ФГБУ «ВИМС», Москва, eremenko@vims-geo.ru*

При проведении поисковых и разведочных работ в последние годы все большее внимание уделяется методам бесконтактного оперативного анализа минерального состава горных пород и руд, к которым относится и портативная ИК-спектроскопия (ИКС).

Инфракрасный спектр любого вещества (положение полос поглощения, их интенсивность, ширина и форма) индивидуален и может использоваться в целях идентификации вещества [6]. Экспериментальные исследования большого числа минералов, в том числе основных породообразующих и гидротермально-метасоматических, показывают, что их можно уверенно различать по полосам поглощения в видимой и инфракрасной областях электромагнитного спектра от 370 до 14 000 нм [9].

Под портативной ИК-спектроскопией понимается изучение спектров минералов в диапазоне от видимой до коротковолновой инфракрасной области (Vis-NIR-SWIR диапазон, 370–2500 нм). В данном диапазоне известны характеристические полосы поглощения для порядка 60–70 минералов, главным образом глинистых и слюдяных, позволяющих однозначно определить их минеральный тип. Основой качественного спектрального анализа является аддитивность ИК-спектров: инфракрасный спектр минерального агрегата является суммой спектров его отдельных компонентов (минералов). Современное программное обеспечение позволяет в получаемом аддитивном спектре идентифицировать до 4–5 отдельных минеральных видов на основе сравнения с эталонными спектрами минералов из спектральных библиотек.

К широкому внедрению ИКС в практику ГРП привело появление портативных спектрометров и программного обеспечения, позволяющих оперативно проводить измерения, осуществлять сбор и хранение большого количества спектральных данных и идентифицировать спектры к определенным минеральным видам.

Обширные накопленные сведения о характере гидротермально-метасоматической зональности многих геолого-промышленных типов месторождений позволяют использовать данные ИКС для картирования полей развития различных типов гидротермально-метасоматически измененных пород и устанавливать их связь с потенциальным оруденением [2–5]. Наиболее хорошо данный метод зарекомендовал себя для порфирово-эпитермальных систем (ПЭС), отличающихся выдержанной метасоматической зональностью и высокой степенью изученности [10].

В данной работе приведен опыт применения портативной ИКС на одном поисковом участке, перспективном на медно-порфировое оруденение.

Измерение спектров диффузного отражения в Vis-NIR-SWIR диапазонах проведено с использованием портативного спектрометра TerraSpec 4 Hi-Res (ASD Inc. PANalytical NIR Center, США). Идентификация спектров выполнялась в TSG Version 7 (CSIRO, Australia).

Участок расположен в пределах Таймырской складчатой системы на контакте Пекинского гранитного массива и вмещающего его Фаддеевского террейна. Породы фундамента сложены метаморфизованными гнейсами, амфиболитами, кристаллосланцами архейского возраста, метаморфизованными вулканогенно-терригенно-карбонатными отложениями нижнего протерозоя и стратифицированными образованиями нижнего и среднего рифея. Породные комплексы вмещают интрузии позднепалеозойских гранитоидов, с которыми потенциально ассоциирует оруденение медно-молибден-порфирового типа.

Гидротермально-метасоматические изменения пород представлены пропилитизацией, березитизацией, аргиллизацией, встречаются гидротермальные брекчии. Зоны метасоматитов сопровождаются жильно-прожилковым окварцеванием.

Основным структурным элементом площади является Дорожнинский разлом, в зоне которого породы интенсивно катаклазированы, окварцованы, серицитизированы, калишпатизированы и пиритизированы.

Исследования методом портативной ИК-спектроскопии проводились на материале истертых керновых проб из 21 поисковой скважины, пробуренных в эндоконтакте Пекинского гранитного массива в зоне влияния Дорожнинского разлома.

В 1372 проанализированных пробах было выявлено 24 минеральных вида: фенгит (602 определения), гётит (414), мусковит (410), каолинит низкой степени кристалличности (142), парагонит-иллит (90), каолинит высокой степени кристалличности (85), монтмориллонит (76), диккит (75), анкерит (67), железомagneзиальный хлорит (61), сидерит (30), фенгит-иллит (25), железистый хлорит (11), магнезиальный хлорит (10), кальцит (7), эпидот (7), цоизит (5), накрит (2), роговая обманка (1), рибекит (1), турмалин-Fe (1), доломит (1), ярозит (1), магнезит (1).

Анализ количества выявленных минеральных видов показывает существенное преобладание минералов группы светлых слюд (фенгит, мусковит, парагонит-иллит). Вторую по распространенности группу составляют глинистые минералы (каолинит и диккит). В 35 % проб был диагностирован гётит. В количестве >3 % встречены монтмориллонит, анкерит и хлорит.



Все типоморфные минеральные виды были условно сгруппированы на основании классификации метасоматических формаций, характерных для зональных ПЭС [7].

К формации пропилитов отнесена минеральная ассоциация хлорита, доломита, эпидота; к формации аргиллизитов отнесены каолинит, монтмориллонит, диккит, сидерит, накрит, анкерит. Отдельно рассмотрено пространственное распространение гётита и минералов группы светлых слюд. Несмотря на то, что светлые слюды входят в состав многих метасоматических формаций, их классификация по формационному признаку затруднительна. Мусковитизация (серицитизация) характерна как для подрудного уровня типичных ПЭС в составе поздних аргиллизитов, так и для кварц-серицитовых метасоматитов (филлизитов), часто вмещающих кондиционное медно-порфировое оруденение. Парагонитовый иллит, как богатая Na форма иллита, может занимать две позиции в рудно-гидротермальных системах: в составе эпитермальных пропилитов и в составе аргиллизитов [8].

Стоит отметить, что при данном подходе к классификации сделано сознательное допущение, что все выявленные типоморфные минеральные виды являются продуктом исключительно гидротермально-метасоматической деятельности и не связаны с контактово-метаморфическими изменениями пород или процессами выветривания. На данном этапе исследования установление генезиса определенных минералов без привлечения дополнительных аналитических методов не представляется возможным.

Анализ развития типоморфных минеральных ассоциаций позволил разделить изученное скважинами пространство на 3 отдельных структурных блока – южный, центральный и восточный, различающихся набором идентифицированных в них минералов (рис. 1). Породы участка, вероятно, претерпели значительные вертикальные смещения по системе разрывных нарушений, что проявилось в пространственном сонахождении у дневной поверхности (до изученной скважинами глубины) минеральных ассоциаций (метасоматических формаций), характерных для различных уровней среза ПЭС (рис. 2).

Отличия в уровне эрозионного среза у данных блоков подтверждается и различной геохимической специализацией слагающих их гидротермально-метасоматически измененных пород. В составе первичных ореолов, исследованных методом портативного рентгено-флуоресцентного анализа, были выделены две геохимические ассоциации элементов – медно-молибденовая (Cu, Mo, Cr) и более низкотемпературная полиметаллическая (Pb, Zn, Cu, Mn, Cd, Ag). Восточный и южный блоки характеризуются преобладанием полиметаллической ассоциации, тогда как в центральном блоке наиболее отчетливо проявлена медно-молибденовая ассоциация.

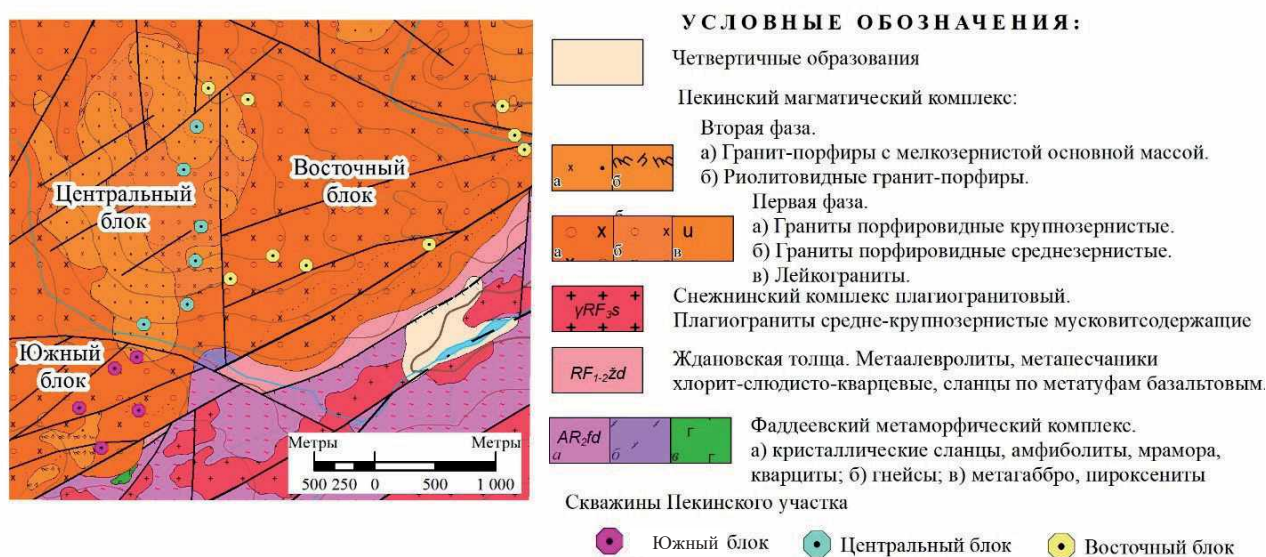


Рис. 1. Геологическая схема участка работ

Такие ассоциации, согласно большинству моделей зональных ПЭС, являются типичными: центральная зона с биотит-калишпатовыми и серицит-кварцевыми метасоматитами обогащенными Cu, Mo, ( $\pm$  Au, Re), которые сменяются к периферии ассоциацией Zn, Pb, Ag ( $\pm$  Mn, Au) в пропилитах [10].

В пределах изученного участка в центральном блоке преобладает диксит-каолинит-мусковитовая минерализация, характерная для поздних аргиллизитовых изменений на подрудном уровне среза ПЭС. Данный вывод подтверждается доминированием геохимической ассоциации Mo-Cu-Cr. Молибден, занимающий нижнерудную позицию на многих Cu-порфировых месторождениях, концентрируется в центральном блоке вплоть до единичных рудных пересечений (до 0,025 %), а его средние содержания в 9 раз превышают кларк верхней части континентальной коры [1]. Среднее содержание меди невысокое (0,034 %). Пиковые значения Cu ассоциируют со светлыми слюдами и дикситом.

В центральном блоке минералы группы пропилитов отсутствуют, а среднее содержание полиметаллов – наименьшие из всех 3 блоков.

Таким образом, уровень эрозионного среза центрального блока можно признать значительным, наиболее характерным для нижнерудного или подрудного уровня типичных Cu-порфировых объектов.

Восточный и южный блоки обладают схожими минералого-геохимическими особенностями и значительно отличаются от центрального блока. Среди глинисто-слюдистых минералов преобладает фенгит, в южном блоке сопровождающийся хлоритом, анкеритом и гётитом, а в восточном – монтмориллонитом.

Для пород восточного блока характерны значимые содержания полиметаллов при невысокой встречаемости минералов, отнесенных к формации пропилитов. Наибольшие концентрации Zn и Pb (до 0,7 и 0,4 % соответственно) отвечают интервалам развития железистых и железомagneзиальных хлоритов.

Содержание меди в восточном блоке низкое (медианное значение Cu менее 20 г/т). Максимальные значения Cu ассоциируют с минералами группы светлых слюд, в частности мусковитом, и в меньшей степени, с парагонит-иллитом и каолинитом. Максимальные значения Mo достигают 0,17 % и ассоциируют с фенгит-анкеритовой минерализацией.

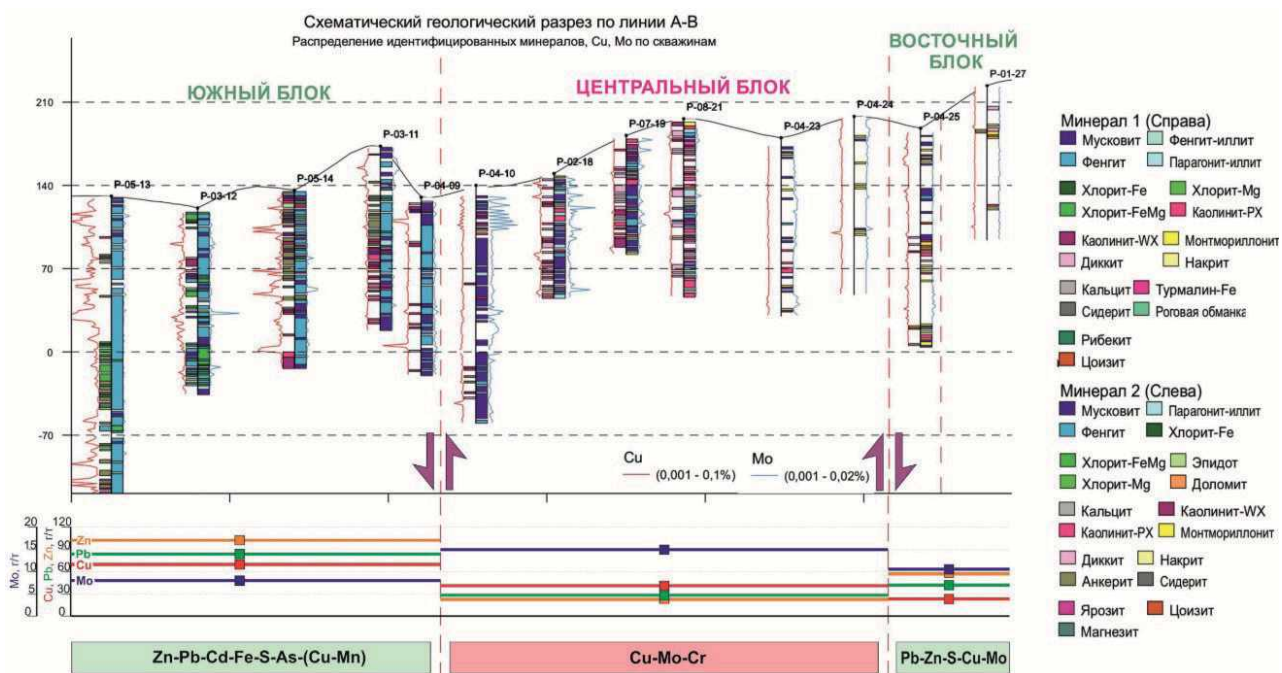


Рис. 2. Схематический разрез распределения минералов в скважинах (по данным ИКС) и содержания рудных химических элементов

Отдельно в восточном блоке можно выделить подблок из трех скважин на северо-восточной оконечности участка, ограниченный разрывными нарушениями, где в составе глинисто-сланцевых изменений встречен каолинит, более характерный для центрального, глубоко эродированного блока.

Отличительной особенностью южного блока служит широкое распространение минералов формации пропицитов и анкерита, слабо проявленных в скважинах из других блоков.

Породы блока отличаются высокими содержаниями полиметаллов – максимальные концентрации Zn достигают 0,6 %, а Pb – 0,24 %. Анкерит – характерный минерал южного блока – часто сопровождается максимальным содержанием меди и полиметаллов (Cu – 0,13 %, Zn – 0,25 %, Pb – 0,27 %). В восточном и центральном блоках анкерит выявлен лишь в единичных пробах с невысокими содержаниями данных компонентов.

Содержание меди (несмотря на наличие отдельных пиковых значений) и молибдена в целом невысокие и часто соответствуют интервалам распространения железистых и железомagneзиальных хлоритов, а также светлых слюд (фенгита и фенгит-иллита) в ассоциации с анкеритом и сидеритом.

Для южного блока характерно также широкое распространение гётита, выявленного в 35 % проб, что может быть связано, предположительно, с сульфидной минерализацией.

Резюмируя вышесказанное, можно отметить, что центральный блок является, по всей видимости, приподнятым, характеризуется значительным уровнем эрозионного среза, повышенными концентрациями Mo и развитием минералов, характерных для формации поздних аргиллизитов. Южный блок эродирован в меньшей степени, а его минерализацию можно отнести к типичной пропицитовой с накоплением полиметаллической геохимической ассоциации (Pb-Zn-Cu-Mn-Cd-Ag). Минерализация в восточном блоке более сложная, переходная, хотя геохимическая специализация отчетливо тяготеет к полиметаллической.

Полученные результаты показывают, что в ни в одной из скважин участка не установлены интервалы, по минералого-геохимическим особенностям характерных для рудной части ПЭС.

Наибольшими поисковыми перспективами обладает наименее эродированный южный тектонический блок с пропицитовыми гидротермально-метасоматическими изменениями и медно-полиметаллической минерализацией. Поисковые перспективы могут быть связаны с глубокими горизонтами этого блока, где вниз по разрезу на фоне широко распространенного фенгита намечается тенденция увеличения встречаемости железистого хлорита. С появлением этих двух минералов ассоциирует и частота встречаемости повышенных содержаний меди в пробах.

## Литература

1. Григорьев Н. А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург : УрО РАН, 2009. – 383 с.
2. Еременко Е. Г., Несмеянова А. И., Саранчин А. В. и др. Опыт применения портативной ИК-спектроскопии при литохимических поисках по вторичным ореолам рассеяния // Рудная школа 2024: Сборник тезисов докладов. – М. : ЦНИГРИ, 2024. – С. 65–69.
3. Жунев Н. В., Березнев М. В., Рассулов В. А. Особенности распределения и диагностика гидротермально-метасоматических образований в пределах Купольского рудного узла (Чукотский автономный округ // Разведка и охрана недр. – 2020. – № 11. – С. 17–24.
4. Карманов Е. Н., Леденева Н. В., Рассулов В. А. и др. Опыт применения VIS-NIR-SWIR-спектроскопии с целью картирования и типизации гидротермально-метасоматических изменений на флангах уранового месторождения Столбовое (Восточное Присянье) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2020. – Vol. 63, no. 6. – С. 46–57.
5. Саранчин А. В., Несмеянова А. И., Махоткин И. Л. и др. Поиски порфирово-эпитептермального оруденения методом портативной инфракрасной спектрометрии // Третья научно-практическая конференция «Минерально-сырьевая база металлов высоких технологий. Освоение, воспроизводство, использование» – М. : ВИМС, 2023.
6. Скочилов Р. А., Фишман А. И. и др. Определение минерального состава пород методом ИК-спектроскопии // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – С. 135–142.

7. Corbett G. J., Leach T. M. Southwest Pacific gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization // Special Publication 6, Society of Economic Geologists. – 1998. – 238 p.
8. Coulter D. W., Zhou X., Wickert, L. M. et al. Advances in Spectral Geology and Remote Sensing: 2008–2017 // Exploration 17, Decennial International Conference on Mineral Exploration, 6. Toronto. – P. 23–50.
9. Hyperspectral imaging for oil and mineral exploration. – URL: <https://www.specim.com/hyperspectral-imaging-applications/oil-and-mineral-exploration/> (дата обращения: 21.10.2024).
10. Trott Mc., Sykora S., Jansen N. Standardization of field-portable short-wave infrared processing for mineral exploration // Newsletter for the Association of Applied Geochemists. – 2022. – No. 196.

## **КРИТЕРИИ ПОИСКА СКРЫТОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ЗОНДИРОВАНИЙ**

А. А. Заплавнова

*<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,  
Новосибирск, ZaplavnovaAA@sbras.ru*

Большинство существующих критериев выделения рудовмещающих тел при поисковых геофизических работах основаны на прямых признаках (контрасту рудовмещающих тел в физических полях). Однако в условиях мощного чехла перекрывающих отложений, крутопадающего характера залегания пластов, низкой контрастности руд на фоне вмещающих пород и других геологических факторов такой набор критериев оказывается малоэффективным. Необходимость разработки новых подходов для поиска скрытых месторождений Алтае-Саянской складчатой области отмечается и в работах [1; 9] (Сотников, 2019). При этом рекомендуется делать акцент на глубинных методах и на проведении тематических работ, направленных на исследование информативности современных методов и подходов при изучении рудоконтролирующих структур района. В качестве направления развития методологии рекомендуется рассматривать рудообразующую систему в целом, а не ограничиваться верхней ее частью.

Проявления дорудных процессов в геоэлектрических разрезах в виде проводящих неоднородностей и связь порфировых месторождений с глубинными разломами впервые были выделены в разрезе средней–нижней коры В. И. Поспеевым в Байкальском регионе в конце 1960-х годов и с тех пор отмечаются авторами по всем миру. Глубинные флюидно-магматические системы были выделены по результатам как полевых, так и модельных исследований методами магнитометрии, гравиметрии [6], магнитотеллурических зондирований (МТЗ) [11; 12; 13], в том числе в комплексе с ЗС [10].

Месторождения Кузнецкого Алатау не являются исключением. В качестве примера приведены исследования методом магнитотеллурических зондирований в Турунтаевской, Кельбесс-Еденисской рудных зонах [5] (рис. 1).

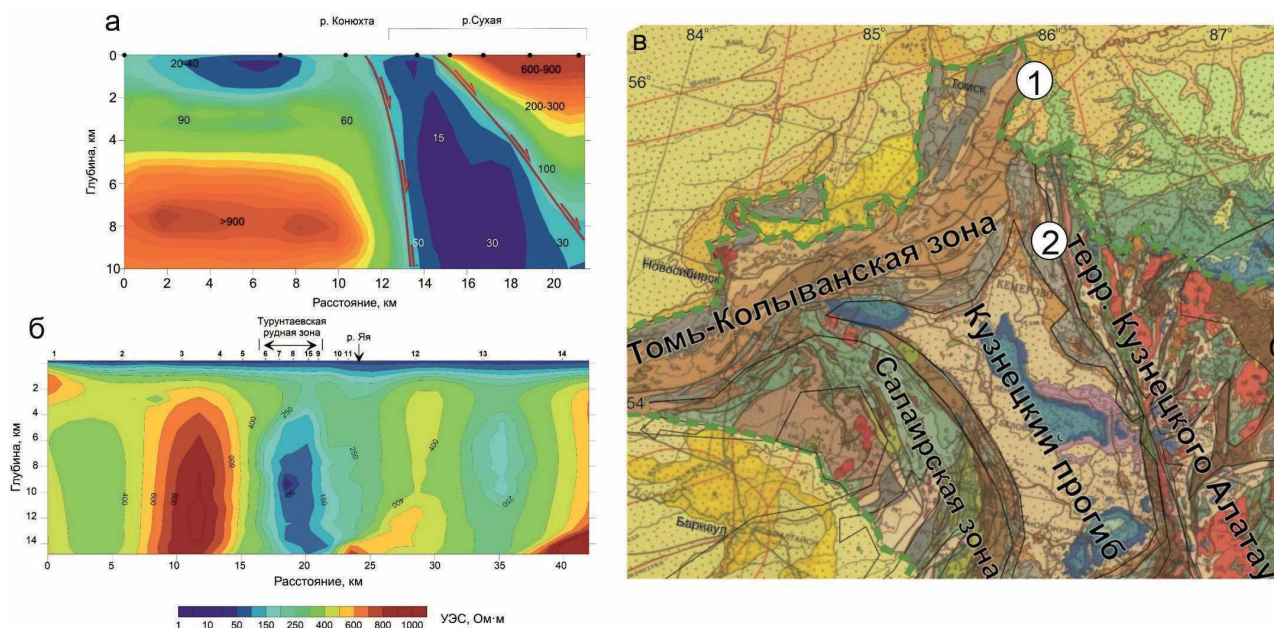
**Геофизические исследования Турунтаевской рудной зоны.** Для выделения критериев проявления глубинных уровней месторождений Кузнецкого Алатау в геофизических полях в качестве эталонного объекта была выбрана хорошо изученная Турунтаевская рудная зона. Объект исследований располагается в северной части Кузнецкого Алатау на стыке с Колывань-Томской складчатой зоной. Геофизические исследования Турунтаевской рудной зоны ограничились методами магниторазведки, ВЭЗ-ВП, СГ-ВП и ЕП в 1980-х годах, которые не дали существенных результатов [3]. Оруденение относится к вкрапленному и прожилково-вкрапленному типам колчеданно-полиметаллической формации. Рудные тела представлены в основном сфалеритом, в меньшей степени галенитом, пиритом, халькопиритом и арсенопиритом [3; 8].

Полевые измерения МТЗ выполнялись аппаратурой «Nord plus» российского производства «ООО Северо-Запад» в диапазоне периодов 0,003–10 000 с. Регистрировались четыре компоненты (Ex, Ey, Hx, Hy) магнитотеллурического поля. Применялась крестообразная установка с длиной электрических диполей 100 м, с ориентировкой линий на магнитный север. Средняя длительность записи составила 20 часов. Шаг между пунктами на территории рудной зоны составлял около 1 км.

Наиболее полно глубинное строение Турунтаевской рудной зоны выделяется при комплексном изучении методами магнитотеллурических зондирований и БПЛА-магниторазведки (на высоте 40 м над уровнем цифровой модели рельефа) по данным [4]. Профиль исследований простирается с юго-запада на северо-восток и пересекает две положительные аномалии магнитного поля амплитудами до 300 и 1300 нТл (рис. 2). Точки перегиба графика магнитного поля соответствуют границам структурных блоков по данным МТЗ и геологического районирования [2]. Они связаны с зонами распространения микродиоритов и базальтовых порфиритов, туфов, маркируют тектонические нарушения, ограничивающие Яйский горст. Восточный фронт первой аномалии соответствует Центральному рудопроявлению Турунтаевской рудной зоны. Рудные объекты преимущественно представлены тонкими крутопадающими телами, содержащими слабомагнитные минералы [3; 8] и соответствуют спокойному характеру магнитного поля.

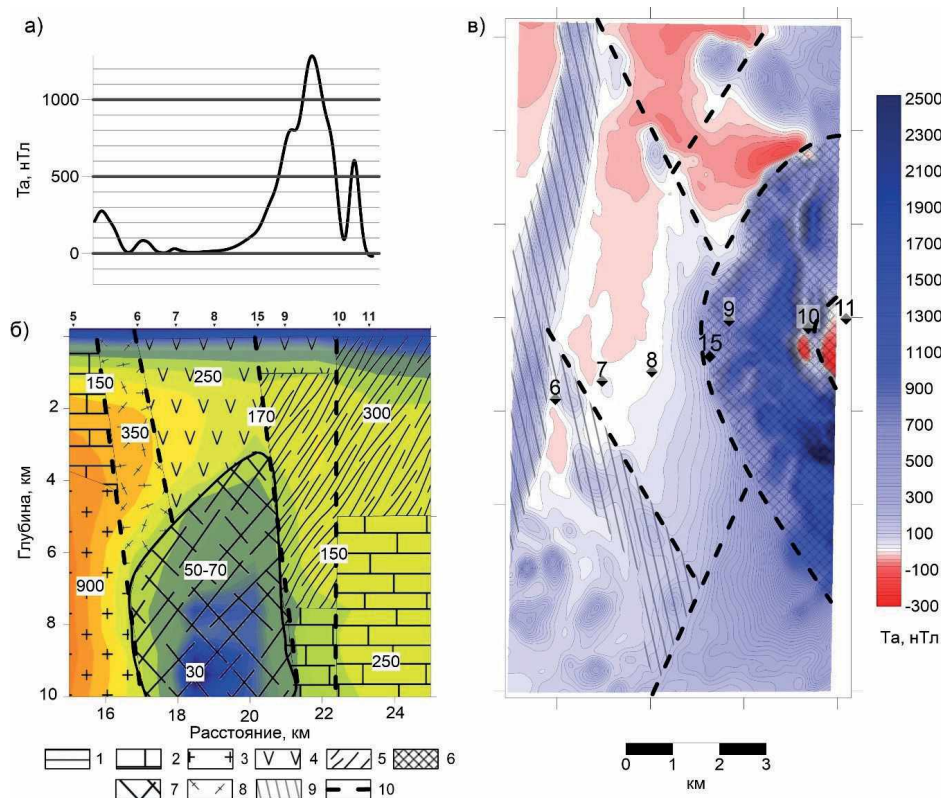
Коровая проводящая аномалия простирается под всей территорией Яйского горста и является поисковым признаком для выявления рудоконтролирующих структур. Локальное повышение удельного электрического сопротивления (УЭС) вышележащего слоя (МТ-пункты 6–7) маркирует область распространения интрузивного комплекса. Положительная аномалия магнитного поля в восточной части исследуемого профиля характеризуется значениями, превышающими 1000 нТл и связана с протрузиями гипербазитов. В западной части участка (вблизи МТ-пункта 6) значения в пределах магнитной аномалии не превышают 300 нТл. На разрезе УЭС на МТ-пунктах 6 и 7 (совпадающем с фронтом западной аномалии магнитного поля) наблюдается повышение значений до 350 Ом·м в поясе распространения долеритовых штоков и даек.

Стоит отметить, что аномалии магнитного поля, вызванные магматическими телами основного и ультраосновного составов, слабо проявлены или отсутствуют в разрезе УЭС (рис. 2). Предполагается, что тела гипербазитов характеризуются высокой трещиноватостью, что объясняет их высокие магнитные свойства в сочетании с низкой контрастностью УЭС на фоне вмещающих эффузивных пород. Дайковый пояс представлен относительно небольшими крутопадающими телами (при шаге измерений МТЗ от 0,5 км и более) и может быть выделен только в качестве единого объекта повышенного УЭС.



**Рис. 1. Геоэлектрические разрезы по данным магнитотеллурических зондирований через:**

*а* – Кельбесс-Еденисскую рудную зону по [5], *б* – Турунтаевскую рудную зону, *в* – фрагмент Государственной геологической карты России с дополнениями: 1 – Турунтаевский рудный узел, 2 – Кельбесс-Еденицкий рудный узел



**Рис. 2. Сопоставление результатов геофизических работ:**

а – график аномального магнитного поля, б – фрагмент разреза УЭС с элементами интерпретации, в – карта магнитного поля с элементами интерпретации.

1 – песчано-глинистые отложения; 2 – известняки, песчаники, алевролиты; 3 – гранитоидный комплекс; 4 – андезиты, базальты, туфы; 5 – хлорит-серицитовые сланцы; 6 – гипербазиты; 7 – зона флюидно-магматической переработки с повышенной трещиноватостью пород; 8 – лавы, туфы, базальты, туфопесчаники; 9 – субвулканические образования: шток и дайкообразные тела; 10 – оси смещения основных разломов

**Выводы.** Методы МТЗ и аэромагниторазведки дополняют друг друга при изучении особенностей скрытого магматизма и глубинных разломов района. В районе исследований дайки, интрузии и протрузии основного и ультраосновного составов характеризуются повышенной трещиноватостью и могут быть слабопроявлены или вовсе не проявлены в разрезах УЭС, полученных по результатам индукционных методов электроразведки, но при этом создавать высокоамплитудные аномалии магнитного поля (300–2500 нТл). Батолиты кислого состава в свою очередь благодаря большому размеру хорошо выделяются в разрезе УЭС в виде высокоомных неоднородностей (>800 Ом·м). В магнитном поле эти тела характеризуются слабоотрицательными аномалиями и выделяются по характеру изменения магнитного поля. Глубинные разломные зоны уверенно выделяются по резкому изменению характера магнитного поля в сочетании с линейными зонами пониженного УЭС.

Поисковым критерием для выделения рудоконтролирующих структур Турунтаевской и Кельбес-Единисской рудных зон методом МТЗ являются низкоомные субвертикальные или линзовидные аномалии низкого электрического сопротивления в верхней части земной коры, свидетельствующие о существовании в этой области флюидных систем рудопереноса или рудогенерации. Стоит отметить, что в изучаемом районе метод МТЗ не решает задачу локализации отдельных рудовмещающих тел, однако позволяет значительно уменьшить площадь поисков за счет локализации рудоконтролирующих структур в границах рудных зон, узлов или полей.

*Исследования выполнены при поддержке проекта Программы фундаментальных научных исследований (ФНИ) № FWZZ-2022-0024*

## Литература

1. Долгаль А. С., Христенко Л. А. Результаты и перспективы геофизических исследований при поисках рудного золота на восточном склоне Кузнецкого Алатау // Вестник Камчатской региональной организации. Учебно-научный центр. Сер. Науки о Земле. – 2008. – № 2. – С. 57–69.
2. Врублевский В. А., Нагорский М. П., Рубцов А. Ф. и др. Геологическое строение области сопряжения Кузнецкого Алатау и Колывань-Томской складчатой зоны. – Томск : Изд-во Томского университета, 1987. – 96 с.
3. Глазырин А. Я., Филатов В. В. Отчет геофизической партии по поискам полиметаллических руд в пределах Турунтаевской зоны полиметаллической минерализации. – Томск, 1983. – 35 с.
4. Гоголев Д. А., Садыкова З. И. Результаты аэрогеофизической магнитометрической съемки масштаба 1 : 10 000 с применением БПЛА на Турунтаевском участке Томской области, 2023.
5. Заплавнова А. А., Поспеева Е. В., Оленченко В. В. Глубинное строение зоны сочленения Кузнецкого прогиба и Камжелинского блока Кузнецкого Алатау по данным магнитотеллурических зондирований // Науки о Земле и недропользование. – 2023. – Т. 46, №. 2 (83). – С. 148–159.
6. Петрова А. А., Копытенко Ю. А. Флюидные системы Мамско-Бодайбинской минерагенической зоны северного Забайкалья. Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. – 2019. – № 1. – С. 37–53.
7. Поспеева Е. В. Природа глубинной электропроводности и связь коровых аномалий с месторождениями полезных ископаемых // Издание: VIII Всероссийская школа-семинар по электромагнитным зондированиям Земли имени М. Н. Бердичевского и Л. Л. Ваньяна (ЭМЗ-2021). Москва, 4–9 октября 2021 г. – М., – 2021. – С. 1–6.
8. Сорокин Е. И. Геолого-структурная позиция, вещественный состав руд Турунтаевского рудного узла (Томская область) и проект оценочных работ // Томск ТПУ. – 2019. – 159 с.
9. Хомичев В. Л. Петрология и рудообразование: избранные статьи: посвящается 50-летию СНИИГГиМС / В. Л. Хомичев. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2005. – 316 с.
10. Fu J., Jia S., Wang E. Combined magnetic, transient electromagnetic, and magnetotelluric methods to detect a BIF-type concealed iron ore body: a case study in gongchangling iron ore concentration area, southern liaoning province, China // Geophysics for Mineral Exploration. – 2020. – Vol. 10, no. 12. – P. 1044.
11. Jiang W., Duan J., Doublier M. et al. Application of multiscale magnetotelluric data to mineral exploration: an example from the east Tennant region, Northern Australia // Geophysical Journal International. – 2022. – Vol. 229, no. 3. – P. 1628–1645.
12. He L., Di, Q., Wang Z., Lai J. et al. Crustal structures of the Qimantagh Metallogenic Belt in the northern Tibetan Plateau from magnetotelluric data and their correlation to the distribution of mineral deposits // Minerals. – 2023. – Vol. 13, no. 2. – P. 225.
13. Kurtz R. D., Ostrowski J. A., Niblett E. R. A magnetotelluric survey over the East Bull Lake gabbro-anorthositic complex // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 1986. – Vol. 91, no. B7. – P. 7403–7416.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В АКЦЕССОРНЫХ ЦИРКОНАХ КАК ИНДИКАТОРОВ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РУДОНОСНОСТИ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД В ОТНОШЕНИИ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ПЛОЩАДИ ЛИСТОВ О-55,56 ПРИ СОЗДАНИИ ГОСГЕОЛКАРТЫ-1000 ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

Н. С. Касаткин<sup>1,2</sup>, А. А. Аленичева<sup>1</sup>, И. В. Таловина<sup>2</sup>, Н. В. Родионов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург,

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,

Санкт-Петербург, [nikita\\_kasatkin@karpinskyinstitute.ru](mailto:nikita_kasatkin@karpinskyinstitute.ru)

**Введение.** Месторождения порфирирового семейства относятся к числу главных источников меди, молибдена и золота на нашей планете. Порфирировые системы в настоящее время обеспечивают производством почти трех четвертей мирового объема меди, половины молибдена, примерно, одной пятой всего золота, большинство рения, незначительное количество других металлов (Ag, Pd, Te, Se, Bi, Zn, Pb). Эти системы также содержат значительные запасы этих металлов, а также включают крупнейшие в мире известные концентрации меди (203 т: Лос-Бронсес-Рио-Бланко, центральная часть Чили) и молибдена (2,5 млн т: Эль-Теньенте, Центральное Чили), а также второе по величине запасов золота (3700 т: Грасберг, включая прилегающий Скарны, Индонезия) [5].

На территории Российской Федерации в настоящее время известно 68 разномасштабных месторождений порфирирового типа и 469 проявлений минерализации (Cu, Mo, Au), относящихся к порфирировому семейству. Подавляющее большинство этих рудных объектов было выявлено в ходе проведения геологосъемочных работ ГК-1000/3, ГСР-200/1 и ГДП-200/2. Наиболее крупными по запасам месторождениями медно-порфирирового типа на территории Российской Федерации являются: Песчанка на Чукотке, Малмыж в Хабаровском крае, Томинское и Михеевское на Урале, Ак-Сугское в Туве, Сорское в Алтае-Саянской области, Бамское и Морозкинское на территории БАМ и др. [2].

Открытие новых месторождений – дорогостоящий и трудоемкий процесс. В настоящее время за рубежом и в России широко применяется методика изучения рассеянных элементов (среди которых RЗЭ, Y, Hf, U, Th, Pb) в цирконах магматических пород, которые позволяют диагностировать металлогенную продуктивность исходной материнской магмы рудообразующих интрузий в отношении  $Cu \pm Mo \pm Au$  оруденения. Данная методика, успешно применяется в Институте Карпинского для разбраковки продуктивных и непродуктивных магматических формаций при Государственном геологическом картировании масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 с целью эффективного выявления участков, перспективных на  $Cu \pm Mo \pm Au$  минерализацию.

Аналитические исследования проводились в Центре изотопных исследований ФГБУ «Институт Карпинского» с использованием вторично-ионного масс-спектрометра SHRIMP-Пе, по методике, описанной в работе О. В. Петрова и др. [3].

**Основной раздел.** Для территории листов О-55 – Талон, О-56 – Магадан профилирующим в металлогеническом отношении является медно-порфирировое и медно-молибден-порфирировое оруденение, представленное проявлениями меди и молибдена Лора, Уптар, Осеннее, Викинг, Хаканджа. В процессе создания авторского варианта Госгеолкарты-1000/3 листов О-55, О-56 (2021–2023 гг.) нами были изучены закономерности распределения элементов-примесей в акцессорных цирконах как рудообразующих интрузий этих проявлений, так и других интрузивных массивов на площади листов (Хмитевской, Онацевича, Магаданский, Павловича, Мыс Речной) для оценки их потенциальной рудоносности.

Геохимические составы цирконов изучались после выполнения их геохронологического исследования методом локального изотопного U-Pb датирования на SHRIMP-Пе. Возраст рудообразующих гранитных интрузий, с которыми на площади листов ассоциирует Cu-Mo и Cu-Au-Mo оруденение, определен в диапазоне 98–106 млн лет. С позднеальб-сеноманскими гранитоидами магаданского плутонического комплекса диорит-гранодиорит-тоналит-гранитовой формации связана медно-и молибден-порфирировая минерализация. Генетическая связь минерализации с гранитоидами обоснована как пространственной приуроченностью, так и изотопно-геохронологическими данными. U-Pb датировки цирконов из гранитоидов магаданского комплекса хорошо коррелируют с Re-Os изохронными датировками по пириту и молибдениту проявлений Усинское и Мыс Павловича [1].

Гранитоиды магаданского комплекса по петрогеохимическим признакам классифицируются как окисленные породы магнетитовой серии, содержащие магнетит и титанит. На классификационной диаграмме  $Fe_2O_3/FeO-SiO_2$  основная часть фигуративных точек гранитов попадает в поле медно-порфирировых систем I-типа, что в целом позволяет относить их к интрузиям, ведущим к образованию руд порфирирового типа.

Характерные составы цирконов позволяют диагностировать металлогенную продуктивность исходной материнской магмы, формирующей изученные рудоносные интрузии. Лучшими индикаторами продуктивности являются отношения  $Eu/Eu^*$  и  $(Eu/Eu^*)/Y$  в цирконах. Для продуктивных магматических формаций в целом характерны более высокие отношения  $Eu/Eu^*$  ( $>0,3$ ),  $10\ 000 \cdot (Eu/Eu^*)/Y$  ( $>1$ ),  $(Ce/Nd)/Y$  ( $>0,17-0,21$ ) и более низкие отношения  $Dy/Yb$  ( $<0,3$ ) в цирконах, чем для непродуктивных формаций.

Сопоставление полученных нами индикативных параметров цирконов с крупнейшим на Дальнем Востоке Au-Cu-порфирировым месторождением Малмыж, позволили отнести к высокопродуктивным только два интрузивных массива: Малоойринский и Мотыклейский в прогнозируемом



### Геохимические параметры цирконов магаданского плутонического комплекса

Номер образца авторский	Интрузивный массив, порода	Возраст, млн лет	Индикативные геохимические параметры циркона – PIZ (Porphyry Indicator Zircons) [4]							Продуктивность
			Ce/Nd	Eu/Eu*	(Ce/Nd)/Y	Dy/Yb	(10 000 × Eu/Eu*)/Y	Th/U	T <sup>o</sup> C (Ti-in-zircon thermometer)	
			> 1	> 0,4	> 0,01	< 0,3	> 1	0,1 ÷ 1,0	637 ÷ 738	
Эталон [3]	<b>Месторождение Малмыж</b>	<b>98 ± 1</b>	<b>10,0</b>	<b>0,60</b>	<b>0,020</b>	<b>0,16</b>	<b>10,0</b>	<b>0,60</b>	<b>680 ± 20</b>	<b>Наивысшая</b>
Мотыклейский рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
1	Мало-ойринский, Amf-bi гранит	100 ± 1	15,6	0,53	0,024	0,21	6,9		677	Наивысшая высшая
2	Мотыклейский, габбродиорит	100 ± 1	5,9	0,88	0,011	0,17	13,9		512	Высокая
Чистоозерный рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
3	Мыс Речной, кварцевый диорит	100 ± 1	3,9	0,43	0,001	0,27	1,1		721	Умеренная
Павловичский рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
4	Антара (Богурчан), диорит	104 ± 1	3,4	0,51	0,007	0,16	5,5		717	Умеренная
5	Павловича, гранодиорит	104 ± 1	6,7	0,31	0,008	0,18	4,2		566	Низкая
Уптарский рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
6	Уптарский, гранодиорит	95,5 ± 1,4	4,1	0,35	0,001	0,26	1,4	0,87	749	Низкая
Лоринский рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
7	Среднинский, кварцевый диорит	103,2 ± 2,0	4,6	0,28	0,004	0,33	2,4	0,76	751	Низкая
Хмитевсий рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
8	Хмитевского, габбро-диориты	100,4 ± 0,6	2,9	0,17	0,001	0,33	0,6	1,0	744	Низкая
9	Онацевича, гранодиорит	99,6 ± 0,7	4,4	0,27	0,002	0,31	1,7		547	Низкая
Осенне-Оксинский рудный узел, магаданский плутонический комплекс										
10	Магаданский, гранит	89,3 ± 0,6	5,6	0,23	0,004	0,29	1,7		723	Низкая

Мотыклейском рудном узле на площади листа О-55 (таблица). Составы цирконов этих двух интрузий отвечают параметрам, характерным для высокопродуктивных магм и характеризуются отношениями  $Eu/Eu^*$  (0,5–0,88),  $10\ 000 \cdot (Eu/Eu^*)/Y$  (6,9–13,9),  $(Ce/Nd)/Y$  (0,11–0,024).

Для порфиридных кварцевых диоритов и гранодиоритов интрузий мыс Речной и Антара на площади листа О-56 установлена умеренная потенциальная продуктивность (таблица). Основные индикативные параметры цирконов этих гранитоидов соответствуют высокопродуктивным магматическим формациям, за исключением одного оценочного параметра – отсутствием положительной корреляция отношений  $(Eu/Eu^*)/Y$  и  $(Ce/Nd)/Y$ .

Предварительные данные об индикативных параметрах цирконов медно-молибден порфиридных проявлений Лора, Уптар, Усинское не позволяют высоко оценивать потенциальную продуктивность рудообразующих интрузий, с которыми связаны эти проявления. Низкая фертильность может объясняться недостаточным объемом исходной рудогенерирующей магмы. Однако слабая изученность этих объектов не позволяет сделать окончательные выводы об их перспективности.

Низкая продуктивность в отношении медно-порфиридного оруденения установлена также для интрузивных гранитоидных массивов магаданского комплекса: Хмитевского, Онацевича, Магаданского и Павловича. С массивом Павловича связано слабоизученное медно-молибденное проявление Викинг (Павловича), выделенное в перспективном Павловичском рудном узле. Рудно-формационный тип данного объекта, вероятнее всего, не относится к порфириному типу.

#### **Выводы.**

1. Петрохимические особенности изученных альб-сеноманских гранитоидов магаданского комплекса классифицируют их как окисленные породы магнетитовой серии I-типа, потенциально рудоносные в отношении медно-порфиридного оруденения.

2. Индикативные геохимические параметры изученных цирконов, выраженные отношениями  $Eu/Eu^*$  ( $>0,3$ ) и  $10\ 000 \cdot (Eu/Eu^*)/Y$  ( $>1$ )  $(Ce/Nd)/Y$  ( $>0,01$ ) позволили предварительно оценить потенциальную продуктивность ряда гранитоидных интрузий на площади листов О-55, 56, с которыми ассоциирует медно-молибден-порфиридная минерализация. Составы цирконов гранитов магаданского комплекса Малоойринского интрузивного массива, с которыми связано Малоойринское рудопроявление, и Мотыклейской интрузии, показали наивысшую продуктивность на  $Cu \pm Mo \pm Au$  порфиридное оруденение, сопоставимую с крупными золото-медно-порфиридным месторождением Малмыж. Составы изученных цирконов кварцевых диоритов интрузии Мыс Речной на площади О-56 указывают на их умеренную потенциальную рудоносность. Низкая потенциальная продуктивность установлена для медно-молибден-порфиридных проявлений Лора, Уптар, Усинское, а также интрузивных массивов Хмитевского, Онацевича, Магаданского и Павловича.

3. Полученные результаты исследования геохимических составов цирконов в комплексе с другими прогнозно-поисковыми критериями позволили выделить перспективные рудные узлы: Мотыклейский с рудогенерирующими интрузиями Малоойринской и Мотыклейской интрузии на площади листа О-55 и Чистоозерный с рудоносным штоком Мыс Речной.

**Благодарности.** Исследования выполнены за счет субсидий по Государственному заданию Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2022 г. № 049-00018-22-01, объекту «Создание и подготовка к изданию Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения по группе листов территории Российской Федерации в 2021–2023 годах» и Государственного задания Федерального агентства по недропользованию по объекту Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А. П. Карпинского (2022–2024 гг.) «Определение критериев рудоносности гранитоидов в отношении золото-медно-порфиридного оруденения по результатам изотопно-геохимического изучения аксессуарных цирконов (в пределах Уральской, Таймырско-Североземельской, Алтае-Саянской, Алдано-Забайкальской, Дальневосточной, Верхояно-Колымской, Чукотской и Корьякско-Курильской серий листов ГК-1000/3)».

## Литература

1. Аленичева А. А. Выявление новых объектов, перспективных на молибден-медно-порфировое оруденение при создании Госгеолкарты-1000/3 на примере листов О-55, О-56 (Северное Приохотье, Магаданская область) / А. А. Аленичева, Н. С. Касаткин, Ю. Ю. Юрченко и др. // Руды и металлы. – 2024. – № 2. – С. 5–27.
2. Петров О. В. Карта закономерностей размещения золото-медно-порфировых месторождений России масштаба 1 : 2 500 000 (на основе комплектов Государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения) / О. В. Петров, Е. А. Киселев, А. В. Молчанов и др. // Сборник трудов доктора геолого-минералогических наук Молчанова Анатолия Васильевича. – СПб. : Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского, 2023. – С. 522–543.
3. Петров О. В. Распределение элементов-примесей (P3Э + Y, Hf, U, Th, Pb) в цирконе как индикатор рудоносности магматических пород Au-Cu-порфировых проявлений Малмыжского и Понийского рудных полей (Нижнее Приамурье, Дальний Восток) / О. В. Петров, Е. А. Киселев, А. И. Ханчук и др. // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 84. – С. 55–70.
4. Lu Y.-J., Loucks R. R., Fiorentini M. et al. Zircon compositions as a pathfinder for porphyry Cu ± Mo ± Au deposits / In Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt; Society of Economic Geologists: Littleton, CO, USA, 2016.
5. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems // Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists. – 2010. – Vol. 105, no. 1. – P. 3–41.

## МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЕ СПУТНИКОВОЕ КАРТИРОВАНИЕ МЕТАСОМАТИЧЕСКИ ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД УЛЬИНСКОГО ПРОГИБА (ОХОТСКО-ЧУКОТСКИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ПОЯС, ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)

А. В. Кирсанова

*Хабаровский филиал АО «Полиметалл УК», Хабаровск, KirsanovaAV@polymetal.ru*

**Геологическое строение района и геолого-генетические типы золотого оруденения.** Район работ расположен в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса (ОЧВП), отличительной особенностью которого является то, что за короткое по геологическим меркам время интенсивная вулканическая деятельность полностью изменила строение территории. Разрывные нарушения глубинного заложения разбивают поля развития вулканогенно-осадочных отложений и являются рудоконтролирующими и рудоподводящими для большинства проявлений и месторождений района. Гидротермально-метасоматическая деятельность, широко проявленная в изучаемом районе, сформировала благоприятные условия для локализации золоторудных и полиметаллических месторождений.

На изучаемой территории на данный момент известны три типа месторождений золота. К первому относятся месторождения-аналоги Светлого – локализованные во вторичных кварцитах эпитеермальные золото-серебряные месторождения кислотно-сульфатного типа с золото-теллуридно-висмутовой минерализацией и убогой вкрапленностью сульфидов. В пределах ОЧВП известны многочисленные проявления гидротермальной деятельности с образованием вторичных кварцитов, аргиллизитов и пропицитов. Некоторые из них обладают признаками золоторудной минерализации и предпосылками для выявления средних и малых месторождений. Однако промышленно-значимым объектом является в настоящий момент только месторождение Светлое.

Второй тип – месторождения жильно-прожилкового кварцевого и кварц-адулярового типов, локализованные в субвулканических риолитах. Одним из неоспоримых плюсов таких месторождений является их близость к поверхности и извлечение золота методом кучного выщелачивания. Примерами таких месторождений являются Восьмое, Адуляровое, отработанные АС «Амур». В совокупности там извлечено около 2 т золота. Наиболее крупным по запасам месторождением такого типа в изучаемом районе является Левобережное, с утвержденными ТКЗ запасами 10 т. Вероятно, рудопроявления Фортуна и Барка могут быть отнесены к этому же типу. Разведка этих объектов не закончена, промышленную значимость на данном

## Формулы для вычисления минеральных индексов по материалам ASTER

Индекс	Формула вычисления	Интерпретация
Fe3+	band2 / band1	Трехвалентное железо
Fe2+	(band5 / band3) + (band1 / band2)	Двухвалентное железо
4/5	band4 / band5	Латериты
Gossan	band4 / band2	Железная шляпа
5/4	band5 / band4	Железистые силикаты (биотит, хлорит, амфибол)
4/3	band4 / band3	Оксиды трехвалентного железа
RBD8	(band7 + band9) / band8	Карбонат/хлорит/эпидот
Ep_Ch1_Amf	(band6 + band9) / (band7 + band8)	Карбонат/хлорит/амфибол
Amf_MgOH	(band6 + band9) / band8	Амфибол/ MgOH
Amf	band6 / band8	Амфибол
DOL	(band6 + band8) / band7	Доломит
CI	band13 / band14	Карбонатный индекс
CLI	(band6 / band8) * (band9 / band8)	Кальцитовый индекс
Fillit	(band5 + band7) / band6	Филлитовый индекс
OHI	(band7 / band6) * (band4 / band6)	Индекс OH-содержащих минералов (гидрослюд)
KLI	(band4 / band5) * (band8 / band6)	Каолинитовый индекс
ALI	(band7 / band5) * (band7 / band8)	Алунитовый индекс
RBD5	(band4 + band6) / band5	Алунит/каолинит/пирофиллит
5/6	band5 / band6	Фенгит
7/6	band7 / band6	Мусковит
7/5	band7 / band5	Каолинит
Clay	(band5 * band7) / (band6 * band6)	Глина
Alteration	band4 / band5	Измененные породы
Host	band5 / band6	Вмещающие породы
Si_1	band14 / band12	Породы богатые кварцем
Si_2	(band11 * band11) / (band10 / band12)	Кремнезем
Si_3	band12 / band13	«Основность» пород
MI3	(band12 * band14 * band14 * band14) / (band13 * band13 * band13 * band13)	Мафический индекс
Si_4	(band11 * band11) / (band10 * band12)	Кварцевый индекс
Si_5	band11 / band10	Кремнезем
Si_6	band11 / band12	Кремнезем
Si_7	band13 / band10	Кварцевый индекс
VEGI	band3 / band2	Вегетационный индекс
NDVI	(band3 - band2) / (band3 + band2)	Нормализованный вегетационный индекс
MgOH	Band7 / band8	MgOH

этапе оценить сложно. Примером крупнотоннажного месторождения кварц-адулярового типа в регионе является месторождение Многовершинное.

Третий, самый распространенный тип – жильный (Хоторчан, Кулюкли). Запасы редко достигают 1–2 т. Жильные месторождения значимых приростов не дают, методом кучного выщелачивания не извлекаются. На данный момент практического интереса не представляют. Тем не менее в перспективе возможно вовлечение в изучение рудопроявления Чистое с прогнозными ресурсами, оцененными предшественниками в 20 т.

Все перечисленные типы генетически связаны с гидротермально-метасоматическими системами, характерной особенностью которых часто являются медно-порфировые месторождения.

Месторождение Светлое расположено в Ульинском прогибе ОЧВП и приурочено к Секчинской вулкано-тектонической депрессии, ограниченной кольцевыми разломами и Дюльбакинскому

грабену с СВ и СЗ простиранием разломов, само месторождение контролируется системой СЗ – субширотных разломов. Район представляет крупную антиклиналь с погружением пород на ЮВ. Магматические образования представлены штоками, силлами, дайками андезибазальтового и гранодиоритового составов, локализующимися по краям вулканотектонических депрессий и трассирующих зоны повышенной проницаемости. По всей вероятности, они являются корнями покровов. Нижнюю часть разреза слагают андезиты, андезидациты и туфы андезитов учуликанской свиты, по химическому составу – известково-щелочного ряда. Верхняя часть разреза представлена породами дацитового состава: лавами, игнимбритами, туфами и туфогенно-осадочными еманринской свиты. Для Алалиндинского рудного поля, к которому относится месторождение Светлое, предыдущими исследователями отмечена генетическая и геохронологическая связь рудопроявлений с уракским комплексом, при этом локализовано оруденение в верхнеамкинских и хетанинских вулканогенных породах. Рудоподводящую роль играют линейные разломы, кольцевые разломы являются рудораспределяющими.

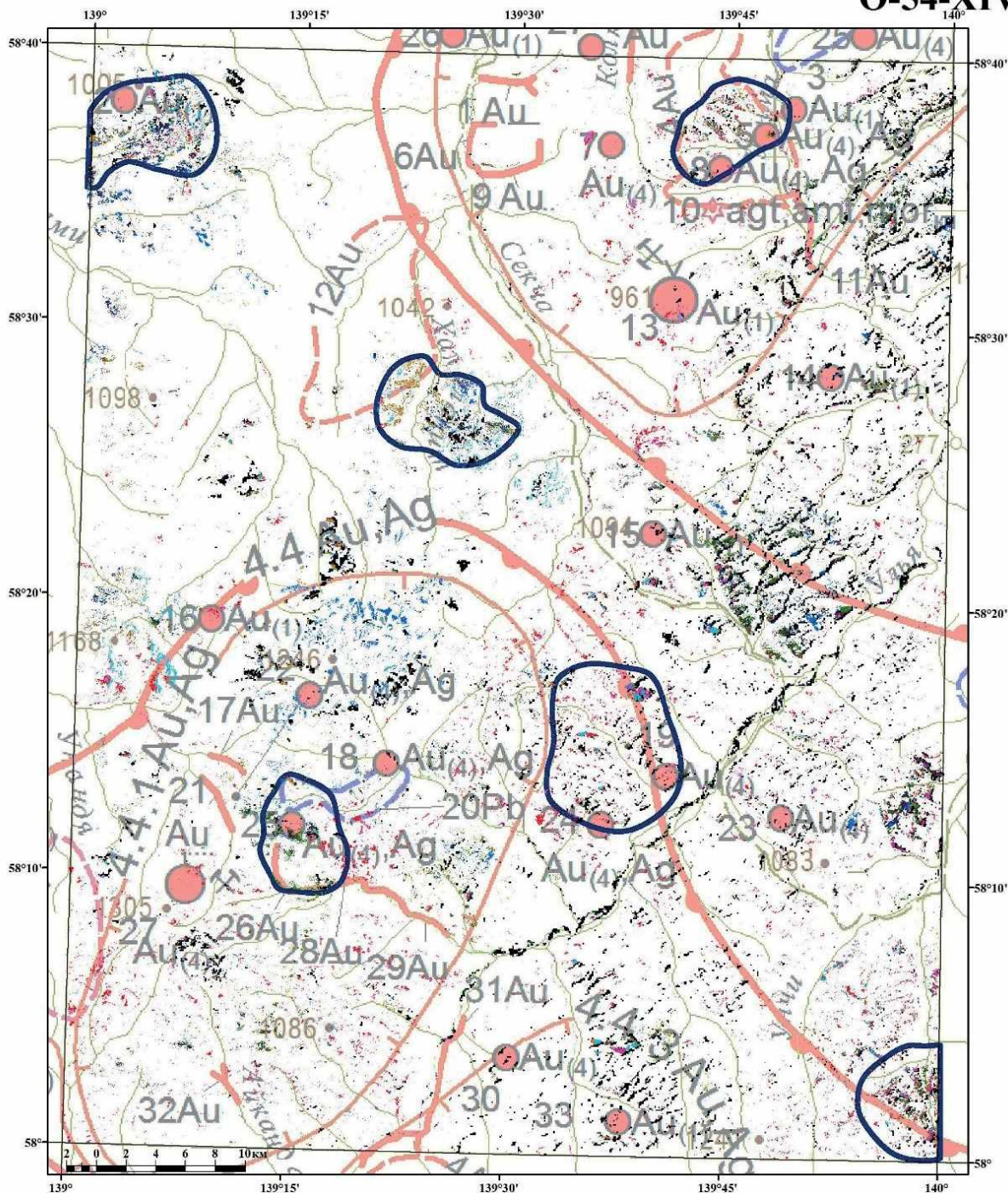
На месторождении Светлое наблюдается четкая метасоматическая зональность: монокварциты – алунитовые кварциты – диккитовые кварциты – кварц-гидрослюдистые метасоматиты – пропилиты. Потенциальные рудные участки в пределах месторождения Светлое характеризуются единым комплексом элементов-индикаторов золотого оруденения Ag-Bi-Sb-(Pb) и закономерным снижением концентраций групп элементов Fe-Cu-Mg-Co-Mn и K-Na-Al.

**Методика исследований.** В общих чертах методика дешифрирования мультиспектральных космоснимков заключается в обработке с использованием специальных программных продуктов (ERDAS) мультиспектральных дистанционных основ (ГДО), чаще всего полученных с помощью детектора ASTER. Исходные космические снимки калибруются, с них удаляются атмосферные шумы, после чего создается набор данных на основе видимого – ближнего-инфракрасного (VNIR), коротковолнового (SWIR) и теплового (TIR) инфракрасных диапазонов излучения. Спектральные характеристики обработанных снимков ASTER позволяют вычислить более 30 различных минеральных индексов (таблица). Вычисления проводят по предложенным в специальной литературе формулам, выбор наиболее информативных для каждой территории индексов зависит от геологической обстановки и аргументов интерпретатора. После дешифрирования проводится анализ полученных карт с использованием имеющейся на изучаемую территорию геологической информации. Итогом работы является рекомендация площади под изучение наземными методами.

В геологоразведочной практике в настоящее время используют несколько способов выделения метасоматитов:

- метод искусственных цветов (объединение в спектральнозональный снимок калиброванных каналов, как правило, SWIR диапазона),
- расчет спектральных индексов (таблица),
- метод главных компонент (МГК), в результате которого получают многослойное некоррелированное изображение, в котором каждый последующий слой описывает все меньшую дисперсию.

С математической точки зрения метод главных компонент представляет собой преобразование набора взаимосвязанных данных в пространство меньшей размерности, с осями координат (компонент), среди которых первая представляет собой максимальную дисперсию данных, а вторая максимальна для непопадающих на эту ось и т. д. С каждой компонентой связана определенная нагрузка (ее вес относительно общей дисперсии). Потенциально рудоносные вторичные кварциты имеют определенный набор минералов-индикаторов, фиксируемых спектральнозональными снимками. Имея упрощенную модель с минералами-индикаторами, зависимиыми друг от друга и находящимися в непосредственной близости, можно, учитывая данные зависимости, математически выявить области, где будут наиболее ярко проявлены как минералы-маркеры метасоматического процесса, так и получившиеся при математической обработке индексы, характерные для гидротермальных образований искомого типа.



Условные обозначения

Минералы-индикаторы:























 Кварц	 Щел. пол. шпаты	 Сульфиды As, Cu, Fe	 Сульфиды Mo, Pb, Zn	 Сульфиды Hg, Sb
 Кальцит	 Адулар	 Арсенопирит	 Сфалерит	 Киноварь
 Алувнит	 Альбит	 Шприт	 Галенит	 Антимонит
 Шеелит	 Слоды	 Пирротин	 Молибденит	
	 Биотит	 Халькопирит		
	 Серпентин			
	Комплексные спектрометрические аномалии			

Рис. 1. Схема комплексных спектрометрических аномалий (пример дешифрирования листа O-54-XIV с элементами минерагенического районирования, № 13 – месторождение Светлое, Институт Карпинского).

**Работы предшественников.** До ввода в эксплуатацию месторождения Светлое практически все работы в изучаемом регионе были ориентированы на поиски кварцево-жильных и штокверковых образований с золотым оруденением. Потенциальная золотоносность вторичных кварцитов оценивалась положительно, но детальное изучение и оценка золоторудного потенциала кроме как на Светлом не проводилась. В 2019–2022 гг. проведены анализ, обобщение и прогнозирование потенциально золотоносных массивов вторичных кварцитов, в том числе с привлечением внешних экспертов.

В период 2019–2022 гг. были проведены масштабные поисково-ревизионные работы на участках, выделенных как своими силами, так и сторонними специалистами, в том числе заверка аномалий, полученных при дешифрировании космоснимков и нейросетевом прогнозировании.

Одни из первых работ по дешифрированию мультиспектральных космоснимков территории, включающей Ульяновский прогиб, с целью картирования полей гидротермально-измененных пород были выполнены ВСЕГЕИ (рис. 1). Был создан комплект дистанционных основ листов О-54-XIV, О-54-VIII, О-54-IX, О-54-XV, О-54-X, О-54-II, которые состоят из 14 дистанционных основ каждого спектрального диапазона и цветовых композиций (RGB).

Согласно геологическому заданию и анализу геологического строения территории, минералами-индикаторами оруденения были выбраны кварц, карбонат (кальцит), щелочные полевые шпаты (альбит, адуляр), слюды (серицит, биотит), алунит; рудные минералы – шеелит, касситерит и сульфиды (пирит, арсенопирит, халькопирит, пирротин, галенит, сфалерит, молибденит, антимонит и киноварь).

Минералы-индикаторы для удобства анализа их распределения были подразделены на три условные группы. В первую объединены кварц, карбонат (кальцит), полевые шпаты (альбит и адуляр) и слюды (серицит и биотит); во вторую вошли сульфидные соединения Fe, Cu, Mo, Pb, Zn, Sb, Hg; к третьей отнесены алунит и шеелит. Был проведен анализ состава и распределения минералов-индикаторов по площади листов, что позволило выявить в их пределах скопление определенных минералов-индикаторов, которое было определено как комплексная спектрометрическая аномалия. Под комплексными спектрометрическими аномалиями понимаются участки локализации (или компактные ореолы) фигуративных точек индикаторных минералов и их ассоциаций в различных сочетаниях, слагающих залежи полезных ископаемых (рудных и нерудных) и околорудные изменения, которые позволяют получить вероятностную картину распространения рудных объектов на территории.

Выявление комплексных аномалий проводилось по принципу аналогии с известными месторождениями. Схема комплексных аномалий гидротермально-метасоматических изменений пород создавались на базе спектрометрических характеристик образцов (кластеров), отобранных и переданных с эталонных объектов Левобережное и нескольких участков эталонного объекта Светлое.

По результатам интерпретации и анализа имеющейся геологической информации были предложены к заверке 31 аномалия, из которых 26 связаны с известными рудопроявлениями. Но в то же время были пропущены (т. е. не ассоциировали с выделенными аномалиями) известные в регионе проявления вторичных кварцитов Дюльбаки, Наледный, Девокшинский.

Наземная заверка проведена на двух участках со знаками золотоносности в дренирующих ручьях. На местности установлены слабо измененные породы, на одном из участков метасоматические изменения представлены пропилизацией эпидот-хлоритовой фации, в различной степени развитой по туфам андезидацитов амкинской свиты. В правобережье руч. Амычичан близ водораздела установлена зона умеренной аргиллизации (каолин-кварцевых изменений, каолинизации) площадью 1 км<sup>2</sup>, на втором участке преобладают кварцевые, пропилит-кварцевые метасоматические изменения различной степени интенсивности. Изменения имеют характер окварцевания и аргиллизации по массе породы с малым количеством сульфидов. Литохимическим и штучным опробованием перспективные аномалии не выявлены.

Позднее Томский политехнический институт выполнял подобного рода работы в рамках разработки геолого-генетической модели эпитермального золоторудного месторождения Светлое и геолого-поискового комплекса, направленного на обнаружение аналогичных объектов в пределах Уенминского рудного узла на гораздо меньшей площади. В работе ТПУ использованы космоматериалы Landsat ETM+, Landsat 8, Aster, Sentinel, цифровые модели рельефа SRTM и AsterGDEM. Комплекс методов выделил наиболее важные показатели при интерпретации мультиспектральных данных для выделения вторичных кварцитов: каолиновый и мафический индексы (таблица), которые отображаются в виде композитного RGB-изображения (рис. 2).

Полных аналогов Светлого по набору индексов найти не удалось, большинство аномалий дешифрированы как поля развития аргиллизитов. На основании комплексного анализа геологических, геофизических и геохимических данных коллективом авторов ТПУ к изучению предложено три участка. Полевыми работами были заверены и подтверждены зоны аргиллизации на участке Кимани, на втором участке аномалия имела ложную природу, связанную, вероятнее всего, с залесенностью территории. Аномалии золота в первичных и вторичных ореолах рассеяния поисковыми работами не выявлены. Изучение третьего участка отложено на неопределенный срок в связи с его труднодоступностью. Единичными штучными пробами выявлены содержания золота, связанные с аргиллизитами.

Таким образом, проведенные работы по дешифрированию космоснимков и прогнозированию гидротермальных образований, аналогичных светлинским, показали возможность выявления массивов измененных пород.

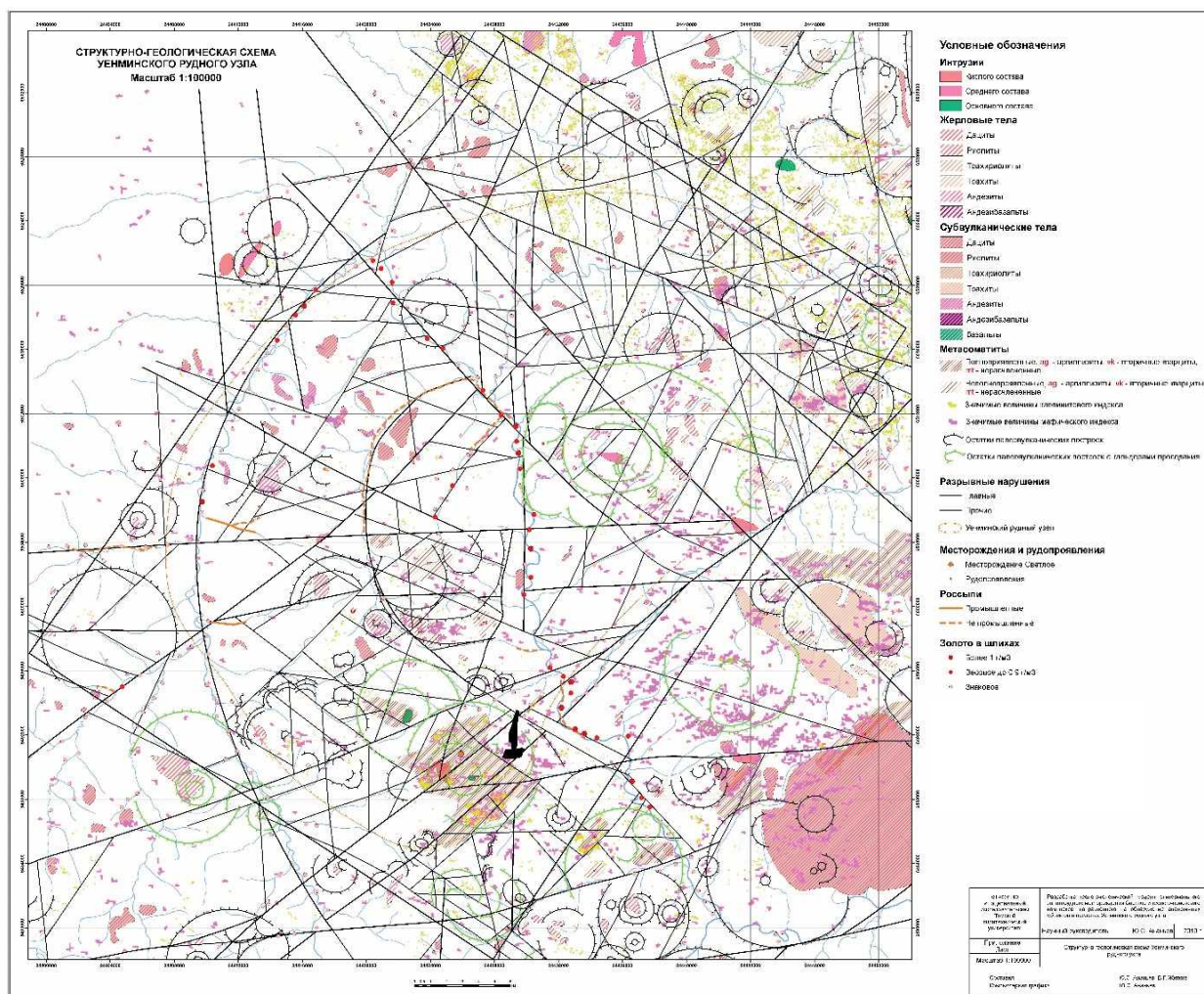


Рис. 2. Результаты обработки дешифрирования космоснимков и геолого-геофизических материалов ТПУ (1 – рудное поле Светлое)



**Повторная интерпретация мультиспектральных данных.** Анализ работ предшественников показал, что на территории Ульинского прогиба, вероятно, выявлены не все массивы, заслуживающие поискового внимания. По материалам картирования ГТС-200 и ГТС-50 массивы вторичных кварцитов различных фаций и масштабов широко проявлены в изучаемом регионе. В полевой сезон 2020 г. были заверены несколько массивов, не проявивших себя ни в работах ВСЕГЕИ, ни в работах ТПУ. Поисково-ревизионными работами изучены гидротермальные образования ручьев Буралкит, Айканда, Эйло. Метасоматические изменения, закартированные на участках, схожи с рудным полем Светлое. В непосредственной близости от Светлого упоминались в отчетах предшественников аргиллизиты шириной более 1 км.

Тем не менее при дешифрировании и интерпретации космоснимков выявить их не удалось. Как видно на рис. 3, данная территория существенно залесена.

К незалесенной территории относятся высокогорья и площади развития субвулканических тел риолитового состава (рис. 4). В целом территория Ульинского прогиба характеризуется достаточно хорошей обнаженностью, массивы вторичных кварцитов часто образуют обширные поля, площадь гидротермальных изменений самого рудного поля Светлое – 30 км<sup>2</sup>. Вероятность дистанционно закартировать здесь метасоматиты высока и нуждается в проверке.

В качестве инструмента анализа мультиспектральных снимков был выбран метод главных компонент, отличающийся простотой, логичностью и минимальными потерями информации даже при большом количестве вводных данных. Обработка методики математической обработки растрового изображения была проведена на снимке, включающем месторождение Светлое (рис. 5). С использованием инструмента Spatial Analyst в ArcGIS по интенсивностям спектральных полос SWIR-диапазона были рассчитаны главные компоненты. При визуализации полученных результатов Светлинское рудное поле отчетливо отразилось в желто-зеленом цвете (с нагрузкой на 1 канал 6-й компоненты). Известные площади метасоматически

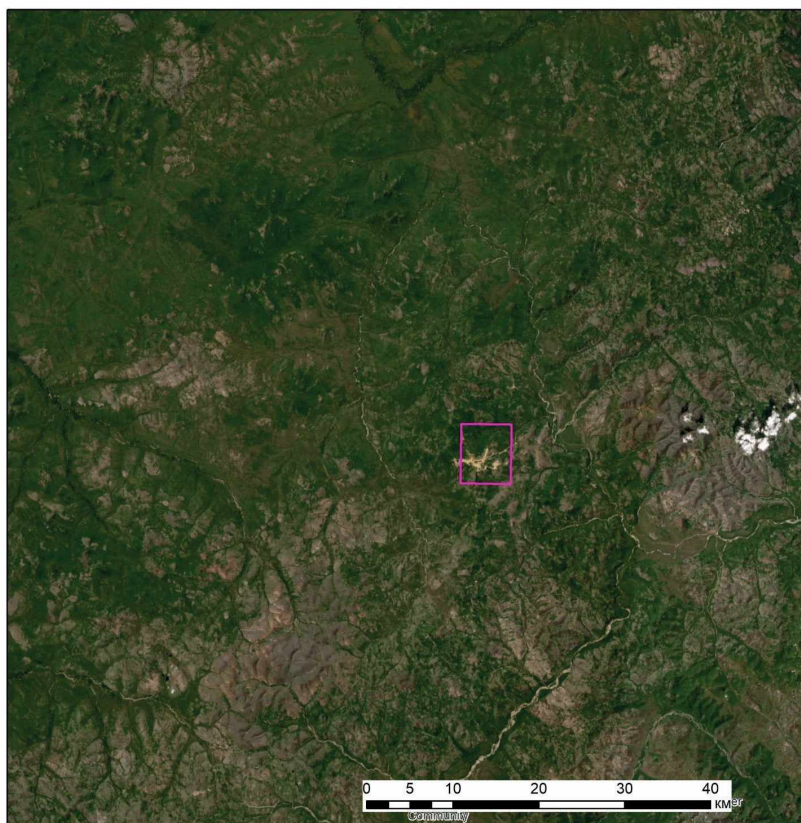


Рис. 3. Космоснимок окрестностей Светлого (ArcGis Image)

измененных пород, в том числе рекомендованные специалистами ТПУ, также выделились в желтом цвете. Это рудопроявления Колорадо (рис. 6) и Кимани, где ранее были проведены поисковые и поисково-ревизионные работы. К СЗ от Светлого таким же образом выделился уч. Буралкит (рис. 7), где тоже были выявлены вторичные кварциты.

После того как выбранная методика прошла проверку, подобным образом были обработаны снимки территорий поисково-ревизионных работ 2020 и 2022 гг.

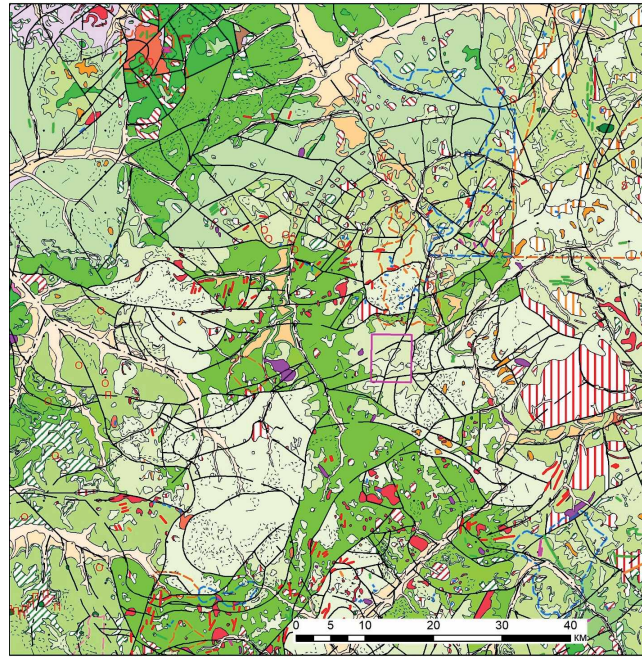


Рис. 4. Геологическая карта окрестностей Светлого (по материалам ГГС-200, 50).

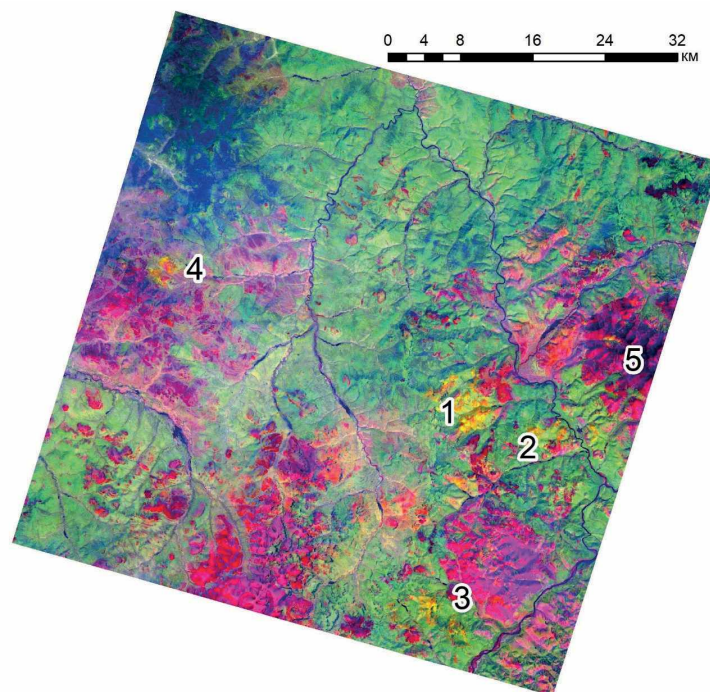


Рис. 5. Результаты математической обработки мультиспектрального снимка окрестностей Светлого  
1 – Светлое, 2 – Колорадо, 3 – Кимани, 4 – Буралкит, 5 – Уенминская палеокальдера

Одной из интересующих нас на территории Ульинского прогиба структурой является Уенминская палеокальдера (рис. 8), имеющая сходное геологическое строение и расположенная на соседнем с месторождением Светлое листе масштаба 1 : 200 000. Именно в обрамлении палеокальдеры предшественниками были выявлены поля развития аргиллизации и метасоматитов шириной до 1 км.



Рис. 6. Уч. Колорадо. Космомнимок

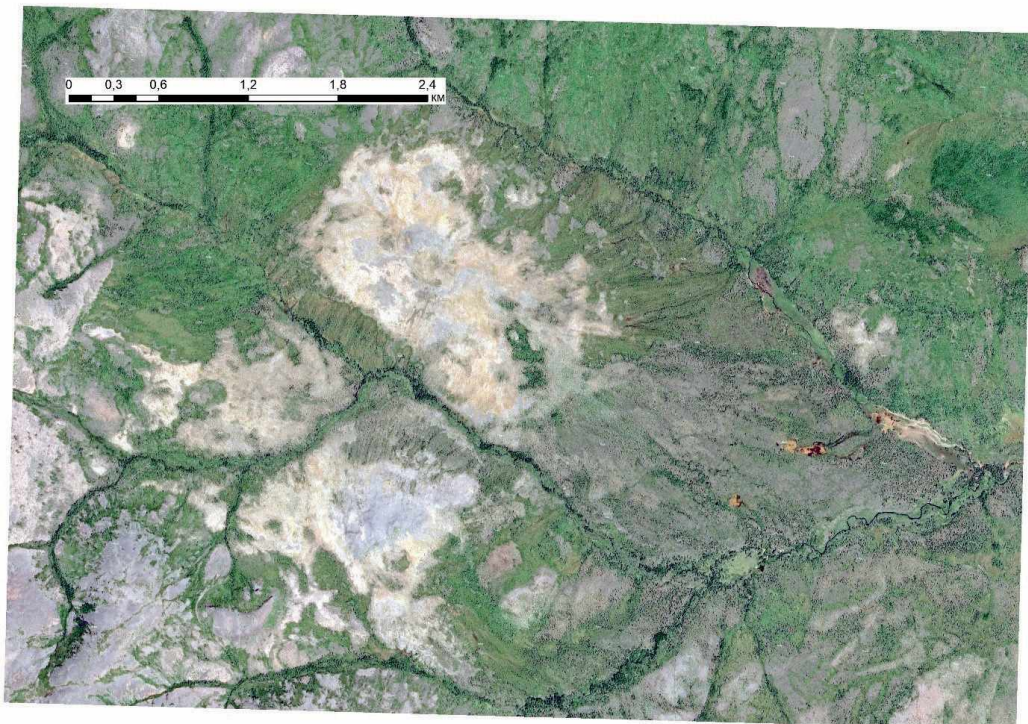
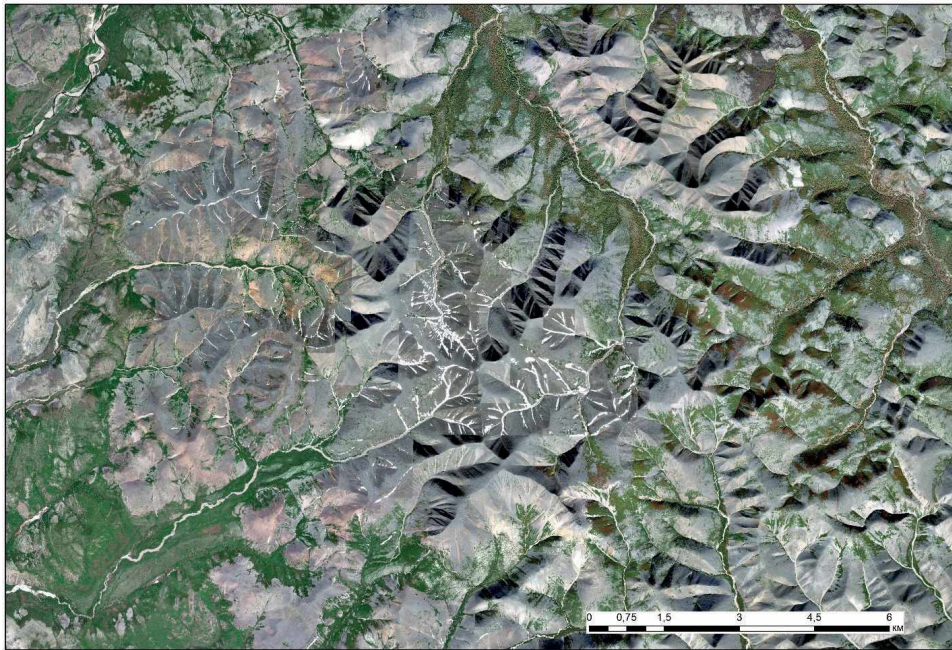


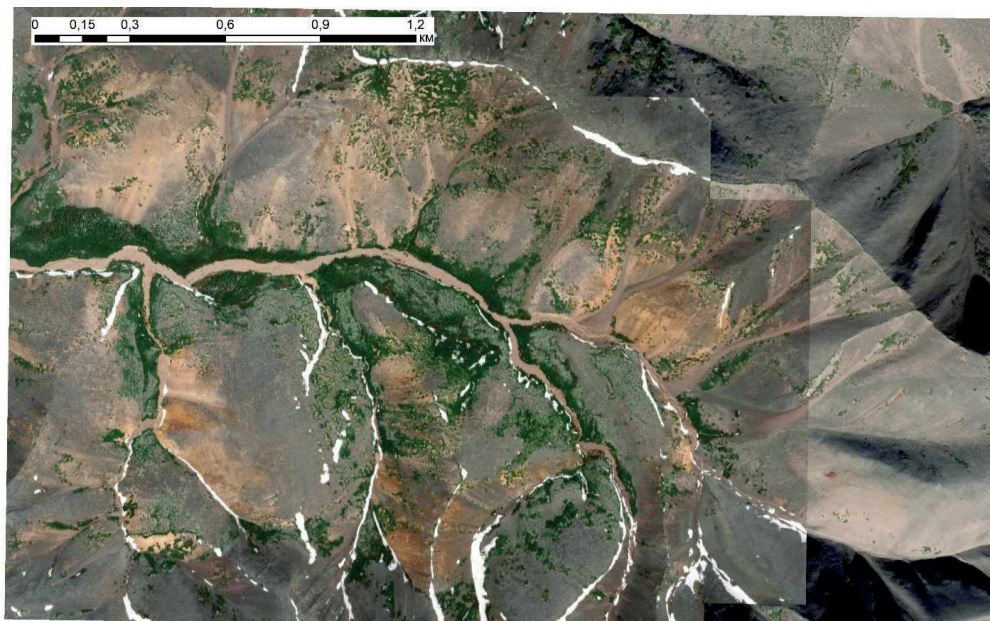
Рис. 7. Уч. Буралкит. Космомнимок

Огромный массив трахириодацитов спектрально доминирует над сигналами вторичных кварцитов. Незначительные изменения цвета в отдельных врезх долин вряд ли могли быть расценены в качестве представляющих интерес поисковых мишеней. Однако при проведении ревизионных работ 2022 г. были выявлены выходящие в бортах руч. Морозный массивы кварцитов с подтвержденной золотоносностью (рис. 9).

Заключительный участок с вторичными кварцитами, имеющий небольшую площадь, – уч. Айканда (рис. 10), расположенный к югу от Светлого. Его существенным отличием является расположение на соседнем снимке по отношению к снимку, включающему Светлинский массив. Кварциты также закартированы поисковыми работами в береговых обнажениях, но перекрыты туфогенно-осадочными отложениями. По результатам математической обработки космоснимка также не выявлены новые поисковые мишени.



**Рис. 8. Уенминская палеокальдера**



**Рис. 9. Уч. Морозный**

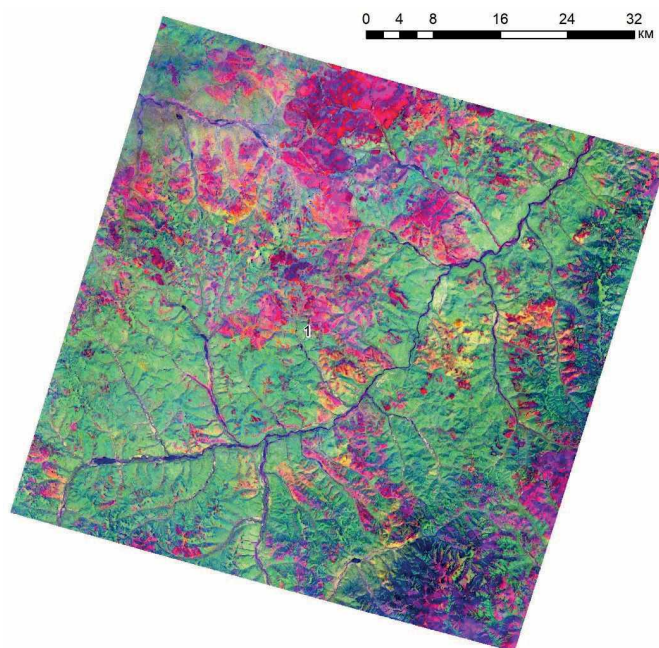


Рис. 10. Уч. Айканда

**Заключение.** Дешифрирование космоснимков с использованием математических методов открывает перспективы к новым подходам картирования и прогнозирования на малоизученных территориях. На примере Ульинского прогиба доказана эффективность проведения таких исследований. Выявленные «цветовые» аномалии, заверенные геологическими маршрутами и литохимическим опробованием, перспективны на выявление оруденения светлинского типа. Малоизученные в этом отношении эпитермальные месторождения кварц-адулярового типа со своим метасоматизмом тоже могут быть отдешифрированы с применением современных методов обработки космоснимков и пополнят минерально-сырьевую базу.

Для уверенной интерпретации мультиспектральных данных на территории должен присутствовать эталонный объект, по своим геолого-геохимическим свойствам отличающийся от вмещающей среды. Именно на снимке, включающем Светлое, метод МГК показал наибольшее количество совпадений. Обоснование заверки мультиспектральных аномалий на местности необходимо подкреплять фактическим материалом. Изучение и интерпретация соседних снимков возможны лишь в прямой зависимости от наличия дополнительной информации – геологических и геохимических карт предшественников.

Подход к дешифрированию и интерпретации должен быть комплексным и разносторонним. Незначительные изменения привычных цветов и появление аномалий необходимо пытаться объяснить с помощью геологической логики и фактуры.

### Литература

1. Ананьев Ю. С., Гаврилов Р. Ю., Орехов А. Н. Информационный отчет по договору СВ 2(01-1-0547) «Разработка геолого-генетической модели золоторудного эпитермального месторождения Светлое и геолого-поискового комплекса, направленного на обнаружение аналогичных объектов в пределах Уенминского рудного узла», 2019.
2. Кирсанов А. А. Отчет о результатах работ по теме: «Создание карты зон гидротермально-метасоматически измененных горных пород, перспективных на золотое оруденение, масштаба 1 : 200 000 на основе космических гиперспектральных данных для группы листов (далее – О-54-XIV, О-54-VIII, О-54-IX, О-54-XV, О-54-X, О-54-II (по данным ASTER)», 2019.
3. Колесников А. Г. Техничко-экономическое обоснование временных кондиций и подсчет запасов по результатам поисковых и оценочных работ на рудное золото, проведенных в бассейне ручьев Алалиньдя и Онемна (месторождение Светлое) по состоянию на 01.11.2005 г., 2006.
4. Фердман И. М. Отчет. Групповая геологическая съемка масштаба 1 : 50 000 на площади листов О-54-51-А, Б, В, Г; О-54-63-А, Б, В, Г; О-54-75-А, Б (части листов), В, Г, 1977.
5. Фролов В. Н. Отчет по поисковым работам на золото в Ульинском прогибе Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, 1977.
6. Шпак Н. С. Отчет по геологической съемке масштаба 1 : 200 000 (лист О-54-XIV), 1974.

# ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ШЛИХОВ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО И СОПРЯЖЕННОГО С НИМ ЗОЛОТО-СУЛЬФИДНО-КВАРЦЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ШХИПЕРОВСКОЙ ПЛОЩАДИ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е. Д. Костина, П. Н. Лейбгам, А. М. Вьюкова, А. Н. Краснов

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт  
цветных и благородных металлов, Москва, [tsnigri@tsnigri.ru](mailto:tsnigri@tsnigri.ru)

Шхиперовская перспективная площадь расположена в 120 км к востоку от г. Магадан между полуостровами Кони и Пьягина на побережье Охотского моря (залив Бабушкина) (рис. 1). В изучаемом районе известны россыпи и россыпепроявления золота, небольшие меднопорфировые объекты (Лора) и ряд незначительных золоторудных проявлений (Рыжик, Гурон, Южный и др.) [1]. В целом, источники россыпной золотоносности выявлены далеко не полностью и район перспективен на обнаружение новых рудных объектов, к которым и относится Сульфидный.

По отношению к металлогеническим таксонам проявление расположено в пределах Накхатанджинского рудно-россыпного узла Кони-Тайгоносской металлогенической зоны. В качестве основного элемента строения территории выступает Мэлдекская интрузивно-купольная структура, сложенная габбро-диорит-тоналит-плагиогранитовой формацией, продуктивной на меднопорфировое и сопряженное с ним золотое оруденение ( $J_3-K_1$ ), и более поздней габбро-диорит-гранодиоритовой ( $K_{1-2}$ ) формацией [1; 4].

В пределах площади распространены стратифицированные образования юрского возраста, принадлежащие к умаринской ( $J_{2um}$ ), береговской ( $J_3br$ ) и халанчиканской ( $J_3hl$ ) свитам, которые сложены терригенно-осадочными, вулканогенно-осадочными и эффузивными породами основного и среднего составов. Толщи прорваны интрузивным массивом Хрустальный габбро-кварцевых диоритов-гранодиоритов и многочисленными дайками раннемелового интрузивного комплекса плагио- и лейкогранитов, тоналит-порфиров, кварцевых диоритов. Площадь осложнена разрывными нарушениями преимущественно северо-западного простирания (рис. 1, 2 и 3).



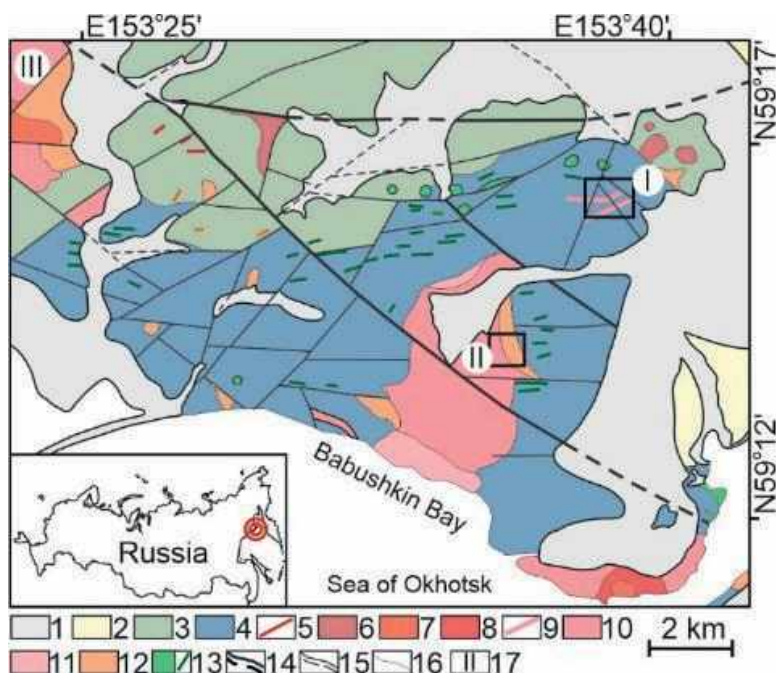
Рис. 1. Положение Шхиперовской площади

В пределах Шхиперовской площади выделен интрузивный массив Хрустальный габбро-кварцевых диоритов – гранодиоритов, в экзоконтактовой зоне которого известно несколько проявлений Cu, Mo, Au, Ag. Вмещающими толщами являются вулканогенно-осадочные породы юрско-мелового возраста.

Интрузивные и вмещающие породы интенсивно изменены метасоматическими процессами. Можно выделить: пропилитовую и филлизитовую стадии.

*Пропилитовая стадия.* На территории рудопроявления широко распространены в разной степени пропилитизированные как дайки среднего и кислого состава, так и вулканогенно-осадочные породы. При изучении шлифов были отмечены 3 ассоциации новообразованных минералов: альбит-биотит-актинолитовая (1), альбит-актинолит-эпидотовая (2) и эпидот-хлорит-альбитовая (3). Первая (1) и вторая (2) из них были встречены лишь в нескольких шлифах образцов, отобранных в канавах в северо-восточном блоке. По литературным данным, температура образования этих ассоциаций выше 300 °С [3]. Наиболее распространенной ассоциацией новообразованных минералов является третья (3), в которой среди рудных минералов были отмечены пирротин и халькопирит. Температура образования указанной ассоциации, по литературным данным, от 250 до 300 °С [3].

*Филлизитовая стадия.* В процессе образования метасоматитов этой стадии по пропилитизированным породам различного типа первичные структуры не сохранились, а ранние ассоциации заместились тонко-микрозернистым серицит-кварцевым (± хлорит) агрегатом с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией. Описываемые метасоматиты имеют локальное распространение и развиты преимущественно близ даек плагио- и лейкогранит-порфиоров, тоналит-порфиоров, а сами магматические породы слабо серицитизированы.



**Рис. 2** Измененная и упрощенная геолого-тектоническая карта Шхиперовской площади по результатам групповой съемки Шубина и полевых работ в 2020–2022 гг.

1 – четвертичный аллювий, 2 – неогеновые рыхлые отложения, 3 – нижнемеловые терригенно-вулканогенные породы, 4 – терригенно-вулканогенные породы средней и верхней юры, 5 – риолит-порфировые дайки, 6 – субвулканические дацитово-порфировые тела, 7 – лейкограниты, 8 – порфировые гранодиориты, 9 – порфировые тоналитовые дайки, 10 – гранодиориты, 11 – кварцевые диориты, 12 – габбродиориты, 13 – дайки и субвулканический базальт, 14, 15 – разломы: 14 – подтвержденные и предполагаемые крупные разломы, 15 – подтвержденные и предполагаемые более мелкие разломы, 16 – геологические границы, 17 – проявления: I – Сульфидный, II – Хрустальный, III – Лора

Участок Сульфидный расположен в верховьях ручьев Шурфовочный и Костянка (левые притоки руч. Хрустальный). В геологическом строении участка принимают участие вулканогенно-осадочные юрские отложения с широко развитыми по ним метасоматическими изменениями. К меловому возрасту на участке относится вулканоплутоническая ассоциация, представленная серией даек плагиогранитов, гранодиоритов, тоналит-порфиров и кварцевых диоритов. По результатам площадной литохимической съемки, проведенной по всей территории работ, и минералогического анализа были выделены аномалии золота и элементов-спутников, шлиховые ореолы золота, окисленного пирита и гидроксидов железа, агрегатов пород и сростков эпидота. Шлиховые ореолы самородного золота пространственно сопряжены с ореолами окисленного пирита и гидроксидов железа, также отмечаются на участках преобладания каолинизированных (аргиллизированных) и окварцованных агрегатов пород. Форма ореолов позволяет предполагать наличие структурного контроля золотоносной минерализованной зоны. Ореол эпидота, расположенный на южном фланге участка, вероятно, отвечает зоне пропицитизации на периферии штока Хрустальный.

На участке Сульфидный при заверке геохимической аномалии Au, были вскрыты две минерализованные зоны (Сульфидная и Рио), характеризующиеся вкрапленной сульфидной минерализацией и маломощными участками с жильно-прожилковым оруденением. Наиболее высокие содержания (до 1,9 г/т) отмечены в зонах дробления. Золотоносность зон в целом не высокая (сотые – десятые доли г/т), при этом нельзя исключать того, что на участке наблюдается только верхняя часть рудной зоны.

Участок Атыкан (рис. 3) расположен в верховьях р. Атыкан (левый приток р. Мэлдек), сложен нижнемеловыми отложениями сигланской свиты (андезиты, базальты, их туфы, конгломераты), которые в центральной части участка прорваны небольшим нижнемеловым интрузивным массивом габбро. Предшественниками [4] установлен поток рассеяния Au (0,003–0,008 г/т) в верховьях р. Атыкан. Участок расположен на пересечении трех зон тектонических нарушений различных направлений, преобладающей (по результатам дешифрирования КС) является зона трещиноватости восток–северо-восточного направления, вдоль которой вытянута аномалия Au, выделенная по изолинии 0,01 г/т. В пределах этой обширной и слабоконтрастной аномалии выделяются более контрастные (содержания 0,02–0,1 г/т) и меньшие по размерам (протяженностью до 0,4 км) аномалии, расположенные в местах пересечения субширотных зон трещиноватости, с короткими поперечными линеаментами (зонами трещиноватости) субмеридионального направления. На участке предполагается наличие молибден-меднопорфирового оруденения (золото-халькопирит-пиритовая минерализация).

Участок Хрустальный-1 занимает небольшую площадь в верховьях руч. Первый (правый приток руч. Хрустальный) на восточном контакте нижнемелового гранодиоритового массива Хрустальный с ороговикованной толщей средне-верхнеюрских отложений (умаринская свита; песчаники, гравелиты). Гранодиориты клинопироксен-амфибол-биотитового состава

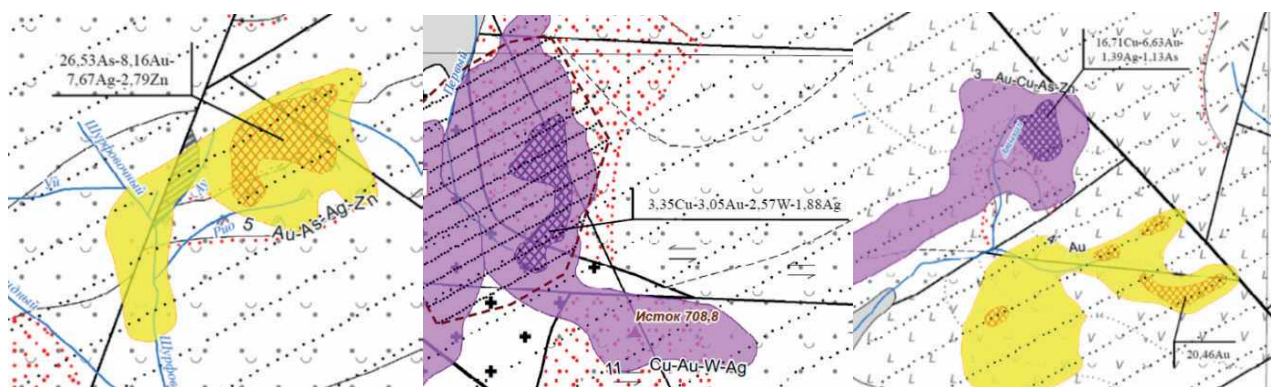


Рис. 3. Геохимические аномалии на участках Сульфидный, Хрустальный-1 и Атыкан



в приконтактной части массива средне-мелкозернистые (микродиориты?) с незначительным увеличением зернистости в глубь массива (до порфиоровидных вкрапленников плагиоклаза). Темноцветные представлены роговой обманкой, биотитом, (флогопитом?), акцессорные минералы: сфен, магнетит, апатит. Отмечается вкрапленная сульфидизация (халькопирит, пирротин, пирит). По гранодиоритам интенсивно развита кора выветривания вплоть до полной их сапролитизации.

В структурном плане рассматриваемая территория находится на пересечении двух зон тектонических нарушений: субширотной и северо-западного направления. Геохимическими поисками установлена аномалия Cu, оконтуренная по изоконцентрате 0,01 % с небольшими локальными ореолами Cu более 0,06 % (до 0,13 %).

Кроме выделения перспективных участков, геохимические, шлихоминералогические и шлихогеохимические методы поиска позволили оценить уровень эрозионного среза на Шхиперовской площади. К геохимическим показателям верхнерудного уровня были отнесены ореолы Ag и Вi. Присутствие Вi и наиболее высокая продуктивность ореолов Ag на месторождении Лора отмечается в верхнем рудном горизонте по результатам предыдущих исследователей [6].

Еще одним возможным критерием оценки уровня эрозионного среза является поведение сидерофильных элементов, изученное на ряде месторождений. По результатам этих исследований [5] установлено, что на основном рудоносном уровне месторождений доминирует вынос сидерофильных элементов, переотложение выносимых компонентов осуществляется как по латерали, так и в надрудных пространствах. При этом для надрудных уровней типичны незначительные положительные коэффициенты корреляции Au с Co, V, Mn.

Таким образом, в условиях слабой обнаженности, обилии курумных отложений и скальных выходов применение совокупности геохимических, шлихо-геохимических и шлихо-минералогических методов поисков позволило получить данные о составе руд, околорудных метасоматитов, выделить перспективные участки и предположить уровень эрозионного среза. Выполненные на площади шлихо-геохимические исследования позволили выделить участки с повышенным содержанием Au, Cu и элементов-спутников в тяжелой фракции шлиха.

### Литература

1. *Иванов А. И.* Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М.: ФГУП ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.
2. *Костина Е. Д., Карась С. А., Саянов М. А.* и др. Опыт применения геохимических, шлихоминералогических и шлихогеохимических методов поисков меднопорфиорового и золото-сульфидно-кварцевого оруденения на Шхиперовской площади (Магаданская область) // Геодинамика и минерагения Северной Евразии. Материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института имени Н. Л. Добрецова СО РАН, 2023 – С. 295–296.
3. *Краснов А. Н., Лейбгам П. Н., Саянов М. А.* и др. Золоторудное проявление «сульфидный»: геологическая позиция, характеристика руд и метасоматитов (Магаданская область) // Геодинамика и минерагения. Северной Евразии. Материалы VI Международной научной конференции, посвященной 50-летию Геологического института имени Н. Л. Добрецова СО РАН, 2023. – С. 306–308.
4. *Одынец В. Ю.* Отчет о результатах опережающей геохимической съемки по потокам рассеяния в помощь госкартированию масштаба 1 : 50 000 в пределах Олынской площади. Листы Р-56-XXVIII, XXXIV, О-56-IV, VI, X–XII. (Олынский отряд, 1977–1978 гг.).
5. *Чекваидзе В. Б., Мияев С. А.* Аномалии сидерофильных элементов на золоторудных месторождениях и их индикаторное значение // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 2. – С. 3–7.
6. *Шубин С. А., Ртищева Л. И., Рочева В. К.* и др. Отчет о поисково-оценочных работах на рудопроявлении Лора (Мэлдекский ПОО). Магадан, 2003.
7. *Leibham P., Krasnov A., Sayapov M.* et al. Characteristics of the ore-bearing Srednensky pluton granitoids and altered rocks in Babushkin bay, Magadan region, Russia // XIII Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2024. – С. 430–434.

# МИНЕРАЛЬНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СУЛЬФИДОВ И ОКСИДОВ ЗОЛОТОНОСНЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ ЗЕЛЕНОКАМЕННОГО ПОЯСА МАГОНДИ (СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ РЕСПУБЛИКИ ЗИМБАБВЕ)

А. В. Кузнецов, А. В. Чумакова, И. В. Таловина, О. П. Мезенцева

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург,  
alexkuznecov2002@yandex.ru

Зеленокаменный пояс Магонди граничит с северо-западной частью Зимбабвийского кратона (рис. 1) и сложен магматическими породами основного–среднего состава супергруппы Магонди, измененными в условиях регионального метаморфизма зеленосланцевой фации и интенсивно проработанными поздними гидротермальными процессами [4].

Формирование пояса произошло на рубеже 2,1–2,0 млрд лет одновременно с завершением постепенного объединения кратонов Каапвааль и Зимбабвийский и было вызвано сближением Зимбабвийского кратона с неизвестным континентальным массивом [3]. Тектоническая активность в регионе, вызванная этим столкновением, повлекла за собой активные проявления магматизма в краевых частях кратонов, вследствие образования активной континентальной окраины Андского типа [3], а последующий метаморфизм и гидротермальная проработка пород комплекса способствовали первичному накоплению и последующей ремобилизации сульфидной и благороднометалльной минерализации [1].

Начало фанерозойского зона характеризуется общей стабилизацией региона и практически полным прекращением активных тектонических движений [2], а также поднятием территории над уровнем моря. Установление в современное время жаркого тропического климата привело к формированию обширных зон распространения латеритных кор выветривания, главным образом развивающихся по породам, слагающим зеленокаменные пояса, как наиболее сильно подверженным физико-химическим изменениям. Важной особенностью рассматриваемых кор является зональное строение (рис. 2), вызванное различной степенью воздействия агентов выветривания; степень изменения породы напрямую зависит от глубины ее залегания.

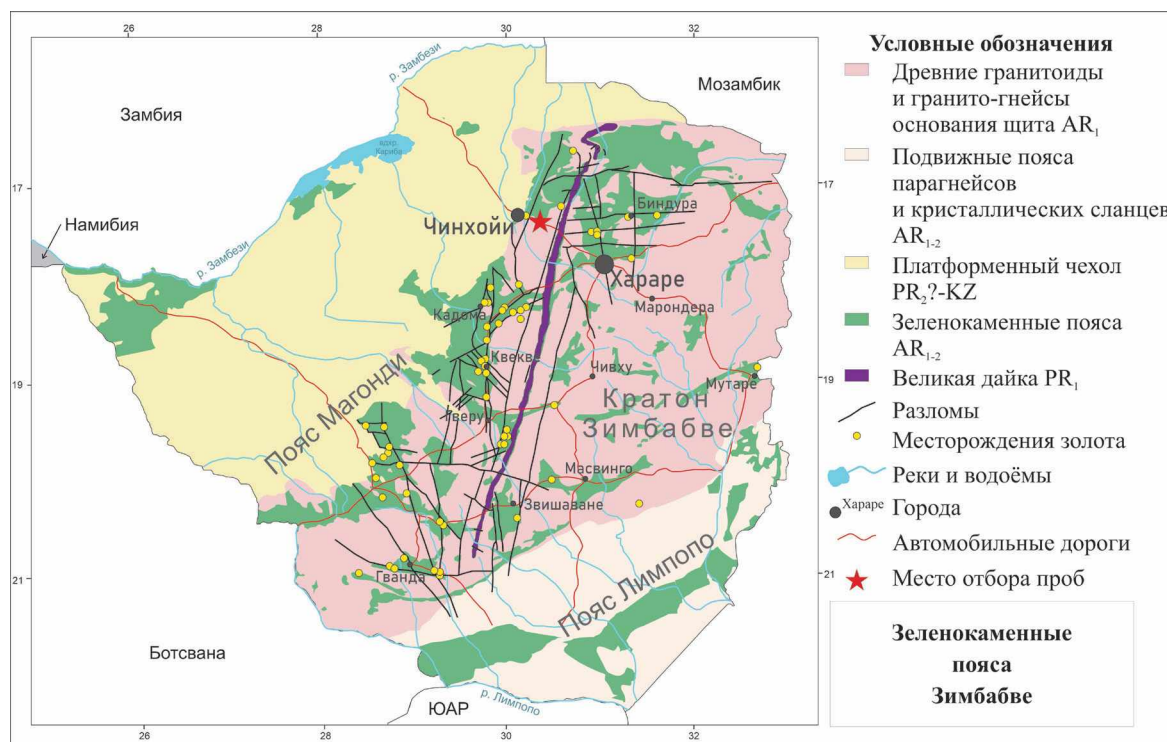


Рис. 1. Геологическое строение Зимбабвийского кратона и прилегающих территорий (с использованием картографических материалов [2])

В ходе полевых работ в пределах зеленокаменного пояса Магонди авторами были отобраны образцы первичных метадолеритов, рудоносного кварца и продуктов изменения из каждой описанной выше зоны коры выветривания. Для получения исчерпывающей информации о минеральном составе пород и особенностях распределения оруденения были подготовлены и изучены под оптическим микроскопом серии шлифов (30) и аншлифов (27) (рис. 3, 4).

По результатам оптико-микроскопического исследования было установлено, что первичные минералы долеритов, слагающих пояса, практически полностью замещены вторичными кварц-хлорит-серицит-амфиболовыми агрегатами, возникшими на зеленосланцевой фации метаморфизма в результате гидротермальной проработки пород флюидными потоками. Реликты исходных пород крайне немногочисленны и несут следы интенсивного тектонического воздействия. Кварцевые жилы, пронизывающие породу, также могут содержать некоторое количество минералов зеленосланцевой фации, что обуславливает их зеленоватый оттенок и, по свидетельству местных старателей, является признаком рудоносности.

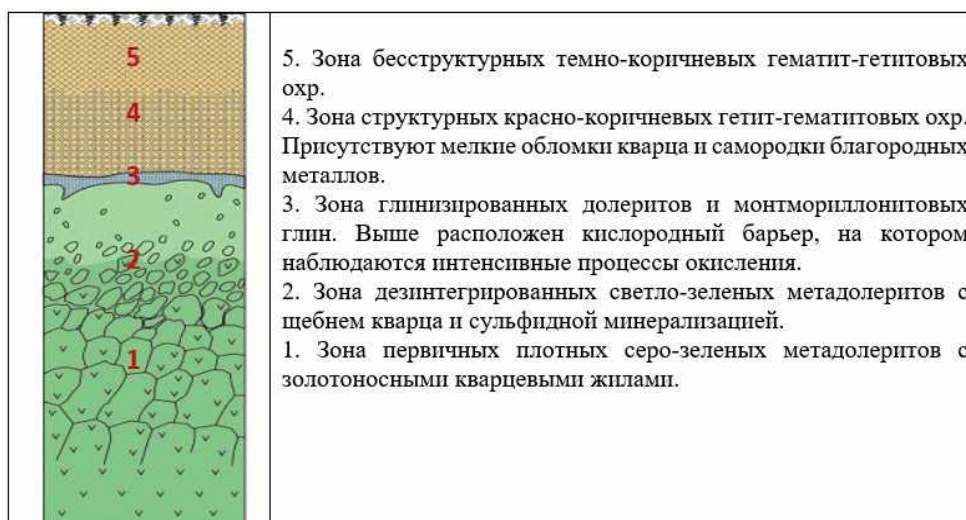


Рис. 2. Сводный профиль коры выветривания метадолеритов зеленокаменного пояса Магонди

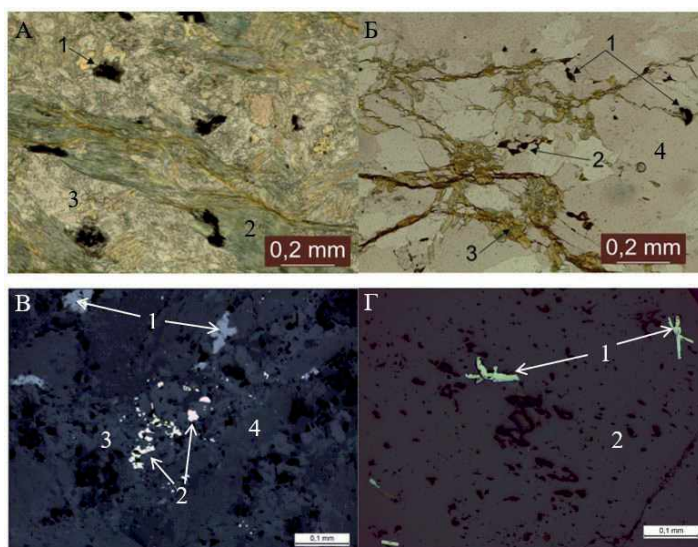
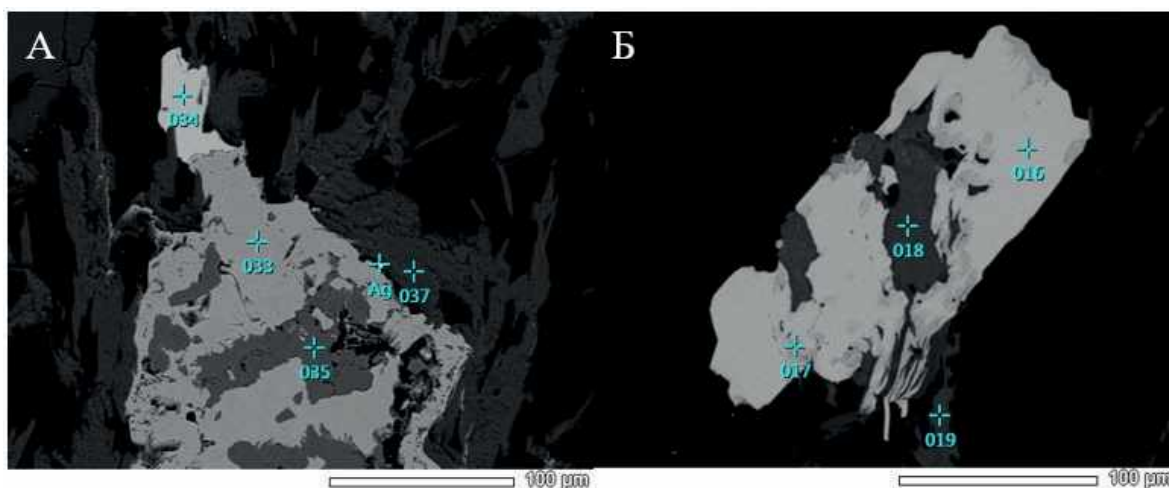


Рис. 3. Микрофотографии шлифов и аншлифов пород зеленокаменного пояса Магонди

**Шлифы (без анализатора):** А (метадолерит зоны 1): 1 – рудный минерал, 2 – амфибол, 3 – кварц. Б (рудоносный кварц): 1 – рудный минерал; 2 – гидроокислы железа; 3 – амфибол-хлоритовые агрегаты; 4 – кварц.  
**Аншлифы:** В (метадолерит зоны 2): 1 – титаномагнетит; 2 – агрегаты пирита; 3 – амфибол; 4 – кварц. Г (рудоносный кварц): 1 – метакристаллы пирротина; 2 – кварц



**Рис. 4. Электронно-микроскопические изображения сульфидов в кварцевых жилах зеленокаменного пояса Магонди**

А. 33 – пирит, 34 – халькопирит, 35 – сидерит, 37 – хлорит, Ag – серебро. Б. 16 – пирротин, 17 – пентландит, 18, 19 – амфиболы

Рудная минерализация представлена главным образом метакристаллами пирротина и пентландита с примесями халькопирита и многочисленными агрегатами и зернами пирита. Наиболее высокие концентрации сульфидов приурочены к упомянутым выше кварцевым жилам, несущим признаки зеленокаменного метаморфизма, причем по мере продвижения вверх по профилю коры выветривания наблюдается закономерный переход первичных сульфидов во вторичные (халькозин, ковеллин), а после преодоления кислородного барьера – в оксиды и гидроксиды железа.

В целях изучения минерально-геохимических особенностей сульфидов и оксидов коры выветривания, а также содержания полезных компонентов в различных зонах профиля, серия из 30 отобранных образцов метадолеритов и продуктов их выветривания была проанализирована с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL-JSM-6510LA в лаборатории ИГГД РАН аналитиком О. В. Галанкиной. На основании полученных данных были составлены таблицы средних химических составов для минералов сульфидных (табл. 1) и оксид-гидроксидных (табл. 2) групп.

Исходя из анализа данных табл. 1, можно выявить определенную закономерность – в сульфидных первичных породах (главным образом в пирите и пирротине) наблюдаются содержания меди (до 1,04 %) и никеля (до 0,63 %), тогда как в сульфидных кварцевых жил происходит очищение рассматриваемых минералов от упомянутых примесей. Высвобожденные химические элементы образуют вторичные сульфиды, часто содержащие повышенные концентрации благородных металлов, в первую очередь, золота и серебра.

Таблица 1

**Средние содержания химических элементов в сульфидных кор выветривания по метадолеритам зеленокаменного пояса Магонди, %**

Минерал	Fe	S	Ni	Cu	Co	Ag	Ca	Total
Халькопирит	30,12	35,16	0,50	34,58				99,91
Пирротин	60,60	39,62	0,39					100,29
Пентландит	29,30	32,60	33,58		4,53			100,00
Пирит (зоны 1–2)	45,34	53,68	0,63	1,04				100,00
Пирит (зоны 3–5)	47,06	53,01						100,08
Халькозин	1,30	22,53		76,08		0,40	0,37	100,22
Ковеллин	1,69	30,85		66,97			0,57	99,69

**Химические составы гётита и гидрогётита из разных зон профиля коры выветривания  
зеленокаменного пояса Магонди, %**

Зона отбора	Fe	O	Si	Al	S	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Ca	Total
2	53,30	18,61	0,64		1,40	0,40	0,88				0,18	75,41
3	53,11	18,61	2,81						0,79			75,32
4-1	51,91	18,04	1,69		0,23			1,94	0,85	0,67		75,33
4-1	50,33	17,98	1,91	1,30			0,27		0,59			72,38
4-2	51,27	18,87	3,21		0,15		0,50				0,37	74,37
4-2	59,05	18,80	1,29	0,28			0,54					79,96
4-3	54,13	17,37	0,95	0,88								73,33
4-3	59,47	17,75	0,25		0,28							77,75

Пр и м е ч а н и е. 4-1 – нижняя подзона, 4-2 – средняя подзона, 4-3 – верхняя подзона.

Динамику миграции металлов можно проследить и основываясь на данных табл. 2. Установлено, что в нижних горизонтах коры выветривания гидроксиды железа, развивающиеся по первичным сульфидам, содержат в качестве примесей никель, кобальт, цинк, тогда как в верхних зонах профиля, вследствие разрушения упомянутых сульфидов, транзитные элементы рассеиваются и уже не образуют значимых концентраций.

Таким образом, верхние наиболее золотоносные горизонты коры выветривания обогащены вторичными сульфидами по отношению к первичным; пирит и гётит очищаются от примесей транзитных элементов, а в рудах увеличивается количество самородного золота и серебра.

### Литература

1. Гордон Ф. А., Дмитриева А. В. Самородное золото и флюидный режим формирования рудоносных пород проявления Раялампи (Хаутаваарская структура, Южная Карелия) // Вестник геонаук. – 2020. – № 5(305). – С. 9–16.
2. Степанов В. А. Золоторудные месторождения провинции Зимбабве // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 85. – С. 58–66.
3. Glynn S. M. Geochronology and evolution of the Magondi Belt // University of the Witwatersrand, Johannesburg. – 2017. – 304 p. – URL: <http://hdl.handle.net/10539/23463> (дата обращения: 26.09.2024).
4. Munyanyiwa H., Maaskant P. Metamorphism of the Palaeoproterozoic Magondi mobile belt north of Karoi, Zimbabwe // Journal of African Earth Sciences. – 1998. – Vol. 27. – No. 2. – P. 223–240.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОРТАТИВНОГО РЕНТГЕНФЛУОРЕСЦЕНТНОГО СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РУДОНОСНЫХ МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ЗОН НА МЕСТОРОЖДЕНИИ РУДНОГО ЗОЛОТА ПЕЩЕРНОЕ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Д. В. Кузнецов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого,  
УрО РАН (ИГГ УрО РАН), Екатеринбург,

<sup>2</sup>ООО «ЛИМС Геологоразведка», Нижнетуринский г.о., пос. Ис, Россия,  
[kuznetsov@igg.uran.ru](mailto:kuznetsov@igg.uran.ru)

Проведение рентгенфлуоресцентного анализа (РФА) посредством портативных спектрометров широко применяется при различных геологоразведочных работах. Это обусловлено простотой использования данных приборов, возможностью проведения анализа без пробоподготовки и разрушения образца, оперативностью получения информации о содержании химических элементов. Для ряда полезных ископаемых, включающих руды Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, V и др., использование портативных РФА спектрометров общепризнано. Однако для золоторудных месторождений сложилось мнение, что данный метод исследований нецелесообразен ввиду неравномерности распределения золота, высокого нижнего предела обнаружения, неустойчивой корреляции между золотом и попутными компонентами. Данное сообщение

посвящено опыту применения рентгенфлуоресцентного спектрометра TrueXEnergy GEO при изучении керна разведочной скважины на золоторудном месторождении Пещерное.

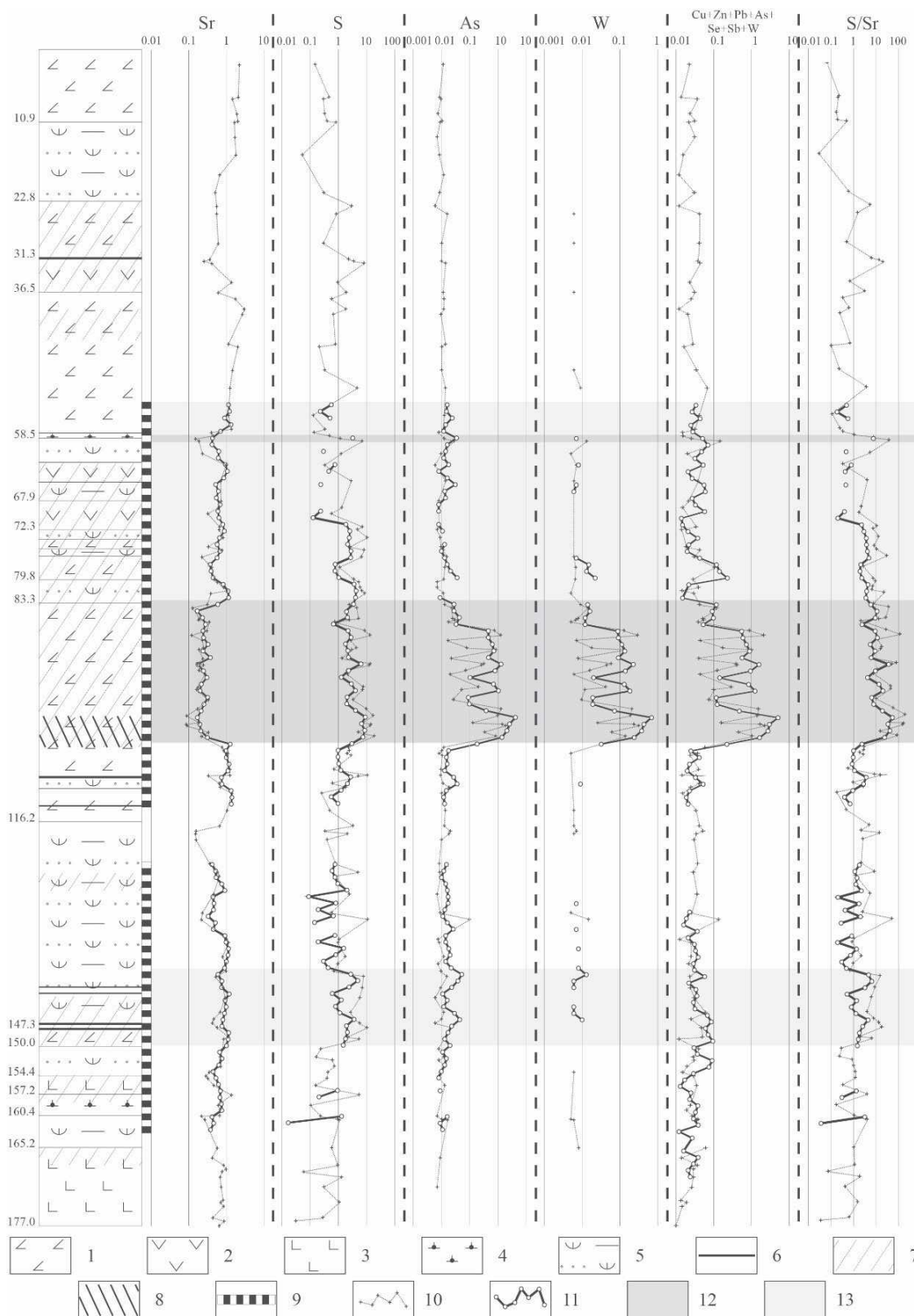
Месторождение Пещерное находится на восточном склоне Северного Урала, в 4,5 км на юго-запад от г. Краснотурьинск. Пещерное было открыто Уральским филиалом АО «Полиметалл УК» и сейчас обрабатывается ЗАО «Золото Северного Урала». Оно относится к Краснотурьинскому рудному узлу, включающему скарново-магнетитовые и медно-скарновые месторождения, а также крупное месторождение золота Воронцовское [4].

По одной из разведочных скважин была отобрана серия из 139 образцов. Образцы отобраны планомерно по всему разрезу, более плотно в рудоносных метасоматитах и разряжено во вмещающих породах. Вулканогенно-осадочные породы в разрезе скважины представлены туфоалевролитами, туфопесчаниками и туфогравелитами, прорванными серией дайковых тел андезитовых, андезибазальтовых порфиритов и лампрофиров (рисунок). В нижней части разреза появляются трахибазальты и их туфы. Метасоматические изменения наложены на все типы горных пород, основная рудоносная минерализованная зона приурочена к метасоматитам по дайке порфиритов, предположительно андезибазальтового состава.

По каждому образцу произведено минимум по 3 анализа с помощью РФА спектрометра TrueXEnergy GEO. Получены содержания 23 элементов: Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Sn, Sb, Ta, W, Pb, а также суммарное содержание легких элементов (H, C, O, F, Na). По образцам рассчитаны средние содержания элементов. Частично керна скважины был опробован, интервалы опробования обозначены на рисунке, в каждой пробе определены содержания Au и Ag атомно-абсорбционным методом в лаборатории ЗАО «РАЦ МИА». По истертому, гомогенизированному материалу проб также проведены анализы с помощью РФА спектрометра. Графики содержаний наиболее информативных элементов, определенные в образцах и пудре, приведены на рисунке.

В пробах рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона ( $r$ ) между содержаниями Au, Ag и содержаниями элементов, определенных методом РФА (таблица). Содержания Pb, Se, Cu выше предела обнаружения зафиксированы только в тех пробах, которые отобраны по наиболее продуктивной минерализованной зоне с содержанием золота более 1 г/т. Наличие положительной корреляции между содержаниями Au, Ag и содержаниями S, Zn, Pb, Cu, As, Se обусловлено тем, что наиболее продуктивные рудные участки содержат минералы полиметаллического парагенезиса (арсенопирит, галенит, блеклая руда, халькопирит, сфалерит). Минеральная фаза, отвечающая за содержания W в рудных участках, пока нами не обнаружена, можно предположить, что она представлена шеелитом. Отрицательная корреляция содержаний Au, Ag и содержаний Sr, Mn, легких элементов, по нашему мнению, является результатом выноса элементов из породы в процессе рудосопровождающего метасоматоза. Это подтверждается наблюдениями по одной из лампрофировых даек вне рудной зоны, являющейся каналом щелочных метасоматизирующих флюидов [2]. В метасоматически измененных лампрофирах наблюдается уменьшение содержаний Fe, Mn, OH, Sr по направлению от внешней к внутренней метасоматической зоне. Сравнение результатов измерений методом РФА по образцам и по истертому материалу проб показывает их высокую степень сходимости.

Для выделения аномальных геохимических ореолов при литогеохимическом опробовании, или как дополнительный фактор для выявления и выделения рудных зон при геологической документации керна скважин, на золоторудных объектах используют показатель суммы содержаний элементов-спутников [1; 3]. В нашем случае таким показателем может служить сумма содержаний Cu, Zn, Pb, As, Se, Sb, W, коэффициент корреляции этого показателя с содержаниями золота составляет 0,86, а с содержаниями серебра 0,7. Другим информативным критерием является отношение содержаний серы к содержаниям стронция. Оруденение месторождения Пещерное относят к золото-малосульфидно-кварцевой формации, значимые содержания золота всегда сопровождаются наличием сульфидной минерализации. Наличие сульфидов в породах не всегда свидетельствует о золотоносности, есть метасоматиты с большим количеством сульфидов,



**Рисунок. Геологическая колонка по разведочной скважине с графиками содержаний представительных элементов и величинами информативных геохимических параметров**

1 – порфириты андезибазальтового состава, 2 – порфириты андезитового состава, 3 – трахибазальты и их туфы, 4 – лампрофиры, 5 – туфоалевролиты, туфопесчаники и туфогравелиты, 6 – кварцевые жилы, 7 – метасоматические изменения, 8 – зона тектонических нарушений, 9 – интервалы опробования, 10 – содержания элемента, определенные портативным РФА спектрометром в образце, 11 – содержания элемента, определенные портативным РФА спектрометром в истертом материале пробы, 12 – интервалы опробования, в которых содержания Au выше 1 г/т (1–9 г/т), 13 – интервалы опробования, в которых содержания Ag, определенные атомно-абсорбционным методом, выше предела обнаружения (0,2–2,0 г/т), а содержания Au выше предела обнаружения и ниже 1 г/т (0,02–0,6 г/т)

### Коэффициент корреляции Пирсона

Элементы	Ag	W	As	S	Pb	Zn	Cu	Sr	Sb	LE*	Mn	$\Sigma^{**}$	S/Sr
Au	0,69	0,86	0,86	0,83	0,68	0,54	0,27	-0,53	-0,55	-0,68	-0,79	0,86	0,93
Ag	1,00	0,64	0,67	0,67	0,74	0,79	0,84	-0,39	-0,15	-0,45	-0,60	0,7	0,76

\* легкие элементы (H, C, O, F, Na)

\*\* сумма содержаний Cu, Zn, Pb, As, Se, Sb, W

но безрудные. Согласно нашим наблюдениям, рудосопровождающий метасоматический процесс происходит с выносом Sr из пород. Коэффициент корреляции между отношением S/Sr и содержаниями золота составляет 0,93, а с содержаниями серебра 0,76.

Несмотря на то, что чувствительность портативных рентгенфлуоресцентных спектрометров не позволяет определять содержания Au и Ag в подавляющем числе проб, при должной градуировке прибора и заверке результатами химических анализов их использование может быть источником важной геологической информации, особенно на начальных стадиях геологоразведочных работ. Помимо общепризнанного применения при литогеохимическом опробовании, экспресс-метод РФА может быть весьма информативным при геологической документации керна скважин, изучении материала РС бурения (бурение с обратной продувкой), оперативном контроле за пробоподготовкой и т. д. Полученные данные свидетельствуют также о том, что, наряду с выявлением положительных геохимических аномалий, положительных корреляций с элементами-спутниками, важную роль может играть выявление отрицательных геохимических аномалий, обусловленных выносом элементов из породы в результате рудосопровождающего метасоматоза.

Исследования проведены с использованием оборудования ООО «ЛИМС Геологоразведка». Работа выполнена в рамках госбюджетной темы Института геологии и геохимии УрО РАН (№ 123011800009-9).

### Литература

1. Генералов В. И. Опыт применения портативного рентгенофлуоресцентного анализатора Innov-X для оперативного выявления золоторудных зон при геологической документации керна скважин на месторождении Многовершинное (Хабаровский край) // Золотодобыча. – 2016. – Т. 7. – С. 32–37.
2. Кузнецов Д. В., Степанов С. Ю., Бутняков А. В. и др. Лампрофиры золоторудного месторождения Пещерное, их геологическое положение, вещественный состав и метасоматические преобразования (Северный Урал) // Записки Горного института. – 2024.
3. Несис В. Н., Мотов А. П., Бутняков А. В. Геохимические признаки и границы золоторудных полей района месторождений Горнячка и Пещерное, Северный Урал // Руды и металлы. – 2020. – Т. 1. – С. 32–38.
4. Сазонов В. Н., Мурзин В. В., Григорьев Н. А. и др. Эндогенное оруденение девонского андезитоидного вулcano-плутонического комплекса (Урал). – Свердловск : УрО АН СССР, 1991. – 184 с.



# РАЗНООБРАЗИЕ ГРАНИТОИДОВ СУХАРНИНСКОГО КОМПЛЕКСА НА ПРИМЕРЕ ЛЕВОКОНЕВААМСКОГО МАССИВА (ЧУКОТКА): U-Pb ВОЗРАСТ, ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В. Г. Куричев<sup>1,2</sup>, Н. В. Шатова<sup>1</sup>, К. Н. Мазуркевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург,

<sup>2</sup>Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург,

Vladislav\_Kurichev@karpinskyinstitute.ru

**Введение.** Настоящий доклад посвящен новым данным по U-Pb возрасту циркона из пород Левоконеваамского массива. Массив расположен в Чукотском автономном округе, в 170 км к северо-западу от г. Билибино, в пределах площади карт R-58-XXI, XXII. Работы на объекте выполнялись в рамках проведения в 2022–2024 гг. региональных геологосъемочных работ масштаба 1 : 200 000 на группу листов в пределах Дальневосточного ФО (северо-восточные районы) Алярмаутской партией отдела РГ и ПИ Северо-Востока.

**Геологическая обстановка.** При постановке работ на данную территорию для построения карт авторы изначально опирались на материалы предшественников [1; 3]. Участок расположен в центральной части раннемеловой Левоконеваамской интрузии гранитоидов сухарнинского комплекса ( $\gamma K_1s_1$ ), лист R-58-XXI, в пределах Коневаамского олово-сереброрудно-россыпного потенциального узла.

В геолого-структурном плане участок характеризуется развитием мачваваамской толщи ( $T_3m\check{c}$ ), которая несогласно перекрывается терригенными разностями пород раучуанской свиты ( $J_3r\check{c}$ ). На южном фланге участка породы мачваваамской свиты согласно перекрывают образования пауктуваамской свиты ( $T_3pk$ ). Вулканические образования представлены тытыльвеемским комплексом андезит-базальтового вулканического состава раннемелового возраста ( $K_1tt$ ), перекрывающего со стратиграфическим несогласием терригенные образования мачваваамской толщи и пауктуваамской свиты верхнего триаса. Описанные образования прорваны гранитами сухарнинского плутонического комплекса, а на восточном и южном флангах субвулканическими образованиями андезитового состава тытыльвеемского вулканического комплекса ( $\alpha K_1tt$ ) и монцодиоритами тымкивеемского монцонит-диорит-гранитового плутонического комплекса раннемелового возраста ( $\mu\delta K_1tm$ ) [2].

**Полевые наблюдения.** В 2023 г. на данном участке проводились поисковые маршруты масштаба 1 : 50 000, направленные на уточнение геологического строения Левоконеваамского массива. Маршруты сопровождалось комплексным опробованием с целью уточнения состава пород, возрастных и петрохимических характеристик.

Во время полевых маршрутов К. Н. Мазуркевича и В. Г. Куричева на площади, где должны наблюдаться выходы туфов основного состава тытыльвеемской свиты и монцодиоритов тымкивеемского комплекса (по данным предшественников), были установлены среднезернистые граниты светло-серого цвета кварц-полевошпатового состава. Также на данной территории были встречены гранодиориты, которые предположительно были отнесены к тымкивеемскому комплексу раннемелового возраста.

Для уточнения характеристик данной территории и массива в целом были проведены исследования в ЦЛ ФГБУ «Институт Карпинского»: силикатный анализ, датирование циркона U-Pb методом, определение химического состава пород методом ICP-MS, включая анализ редкоземельных элементов, а также петрографическое описание пород.

На данный момент сухарнинский комплекс на территории Левоконеваамского массива разделен на две фазы, которые в свою очередь делятся на подфазы, содержащие в своем составе группы пород.

Первая фаза представлена:

*Диоритами.* Биотит-роговообманковый диорит. Состав породы: биотит 15–17 %, роговая обманка 10–15 %, кварц 1–2 %, андезин 60–70 %, альбит.

*Гранодиоритами.* Структура крупнозернистая гранитная. Состав породы: ортоклаз 30–35 %, кварц 15–20 %, биотит 10–15 %, плагиоклаз – андезин 30–35 %. Вторичные изменения: шахматный альбит по ортоклазу, окварцевание, хлорит, серицит, фельдшпатизация умеренно-сильной степени. Образуют переходы к граносиенитам с содержанием кварца 15 % за счет повышения количества ортоклаза до 50 %. Акцессорные минералы – циркон, титанит.

*Гранитами биотитовыми и биотит-роговообманковыми.* Полнокристаллические, равнозернистые, среднезернистые породы с гипидиоморфнозернистой структурой и массивной текстурой. Состоят преимущественно из полевых шпатов и кварца. Полевые шпаты представлены плагиоклазом и ортоклазом, преобладает калиевый полевой шпат. Из фемических минералов в породе присутствует биотит и наложенная роговая обманка. Рудные минералы встречаются в виде единичных зерен в ассоциации с роговой обманкой. Состав породы: ортоклаз 40 %, кварц 29 %, плагиоклаз 20 %, биотит 10 %. Акцессорные минералы – циркон, апатит, титанит.

Однако территория массива, по высотным отметкам, находится ниже относительно других массивов, в которых также выделен сухаринский комплекс. Породы первой фазы не найдены на территории Левоконеваамского массива, предположительно, они эродированы. В данной работе более подробно рассматривается разделение пород второй фазы, первой дополнительной фазы на группы (рис. 1).

На основании петрографических данных выделены две группы пород близкого возраста. От первой ко второй группе происходит постепенное уменьшение зернистости и увеличение щелочности.

К первой группе относятся гранит-порфиры. Крупнозернистые породы с порфировой структурой. Состав: биотит 7–10 %, роговая обманка 1–2 %, кварц 20–25 %, андезин 35–40 % (в порфировых вкрапленниках), ортоклаз 25–30 %, основная масса состоит из мелкозернистого кварца. Для пород характерна березитизация в виде кварц-карбонат-хлоритовых изменений в умеренной и сильной степени. Содержание Li – 64–104 ppm. Группа отнесена к первой дополнительной фазе сухаринского комплекса.

Вторая группа представлена граносиенит-порфирами. Граносиенит-порфиры обладают порфировой структурой. Во вкрапленниках находится роговая обманка, плагиоклаз – андезин, биотит. Основная масса представлена идиоморфным плагиоклазом, роговой обманкой, биотитом. Вторичные изменения выражены в виде слабой и умеренной пропилитизации, представленной в минеральном виде эпидотом, цоизитом, хлоритом, в меньшей степени кварцем, роговая обманка претерпевает перекристаллизацию. Вторая группа относится к первой дополнительной фазе сухаринского комплекса.

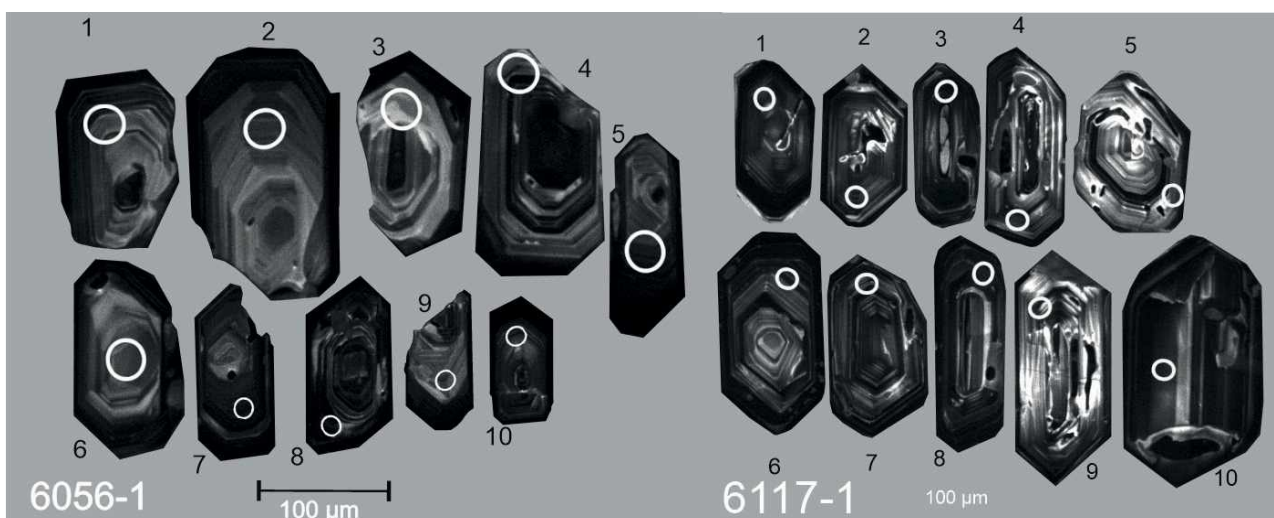


Рис. 1. Катодолюминесцентное изображение зерен циркона из каждой группы пород

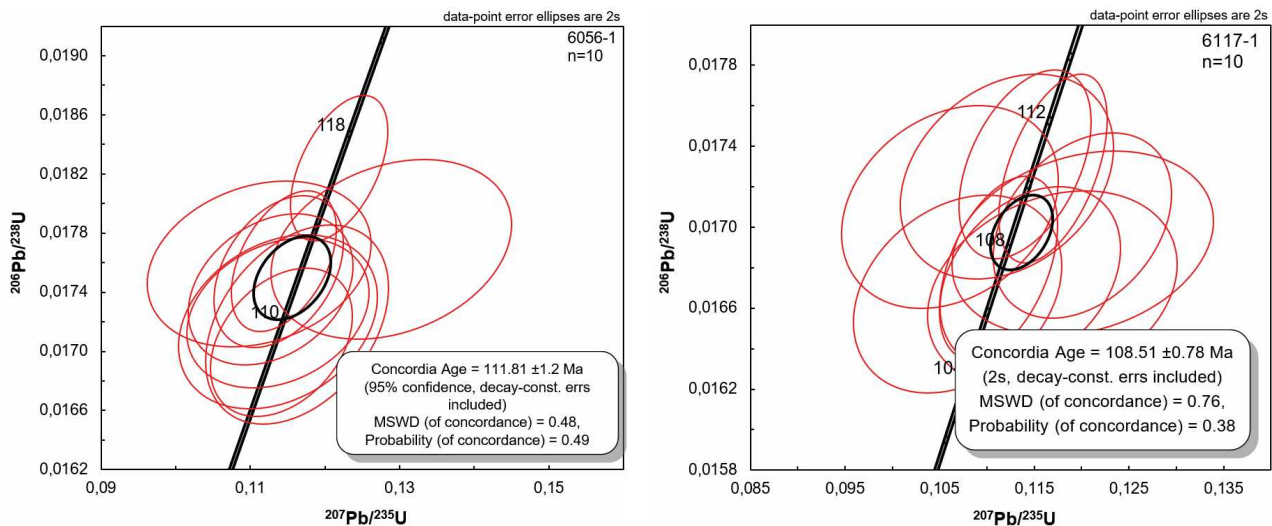


Рис. 2. Графики с конкордией для циркона из проб 6056-1 и 6117-1

Породы обеих групп характеризуются повышенным содержанием Zr (100–180 ppm) и Li (1,5–2,5 кларка).

*Первая группа*, представленная образцом 6056-1, имеет конкордантный возраст  $111,8 \pm 1,2$  млн лет (MSWD = 0,48) (рис. 2).

Цирконы данной породы обладают средней степенью сохранности. Присутствуют зерна с ровными гранями, сохранившие форму призмы. Внутреннее строение демонстрирует осцилляционную зональность, однако неравномерную. Местами зональность угловатая, в некоторых зернах неравномерно чередуются светлые и темные полосы. Циркон обладает большим количеством включений. Максимальная длина по длинной оси достигает порядка 200 мкм, в поперечном сечении 120 мкм. Средние размеры по длинной оси – 150 мкм, в поперечном сечении – 80 мкм.

Содержание урана варьирует в широких пределах от 325 до 2011 ppm, среднее содержание 1028 ppm. Содержание тория варьирует от 81 до 955 ppm (при среднем содержании 367 ppm) и коррелирует с ураном. Th/U отношение довольно низкое и изменяется в пределах от 0,25 до 0,50 (при среднем значении 0,35).

*Вторая группа* представлена двумя образцами: 6117-1 и 6122-1.

Циркон данных образцов отличается более округлыми формами, грани призм прослеживаются. Размеры: по длинной оси в среднем 120–130 мкм, в поперечном сечении 80–90 мкм. Зерна циркона обладают неравномерной осцилляционной зональностью, имеют большое количество включений, а также многочисленные нарушения и зоны перекристаллизации (рис. 1, 2).

Содержание урана в цирконе из образца 6117-1 варьирует в пределах 687–2354 (в среднем 1285) ppm, содержание тория – в пределах 333–1597 (в среднем 850) ppm. Соотношение Th/U варьирует от 0,30 до 1,13, при среднем значении 0,73.

В образце 6122-1 содержание урана в цирконе колеблется от 481 до 1469 (при среднем значении 1049) ppm, тория – 109–346 (при среднем 254) ppm. Отношение Th/U слабо изменяется в пределах от 0,22 до 0,34 (при среднем значении 0,25).

Морфология циркона и его строение в CL, а также величина Th/U отношения указывают на его магматический генезис.

Конкордантный возраст образцов 6117-1 и 6122-1 составляет  $108,5 \pm 0,8$  и  $113,6 \pm 0,5$  млн лет (MSWD = 0,76 и 0,009) соответственно.

Таким образом, исследования по разделению гранитоидов сухарнинского комплекса продолжаются. На примере Левоконеваамского массива представлена часть разнообразия пород с точки зрения возрастных и петрографических характеристик. По полученным данным, с точки зрения датирования, породы второй фазы первой подфазы имеют близкий возраст от 108 до 113 млн лет; с точки зрения петрографических характеристик, породы представлены гранит-порфирами и граносиенит-порфирами.

## Литература

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист R-58 – Билибино. Объяснительная записка. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2001.
2. Павлюк В. М., Игнатова М. В., Гинзбург М. А. и др. Отчет по объекту «Оценка изученности, подготовка геологического обоснования ГДП-200 и комплексная аэрогеофизическая съемка масштаба 1 : 50 000 листов R-58-XXI, XXII, XXVII, XXVIII (Алярмаутская площадь)» в рамках объекта «Проведение в 2020–2022 годах региональных геологосъемочных работ масштаба 1 : 200 000 на группу листов в пределах Дальневосточного ФО (северо-восточные районы)». ФГБУ «ВСЕГЕИ». Декабрь 2021 г. (Росгеолфонд).
3. Тихомиров П. Л. и др. Постколлизийный магматизм Западной Чукотки и раннемеловая тектоническая перестройка северо-востока Азии // Геотектоника. – 2017. – № 2. – С. 32–54.

## ВЕЩЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРОГНОЗНЫЕ РЕСУРСЫ РУДНОГО ПОЛЯ ПЮИ ДЕ ФОЛЬ

А. М. Легенькова

*АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция» (ПМГРЭ),  
Санкт-Петербург, Legenkovaam@rusgeology.ru*

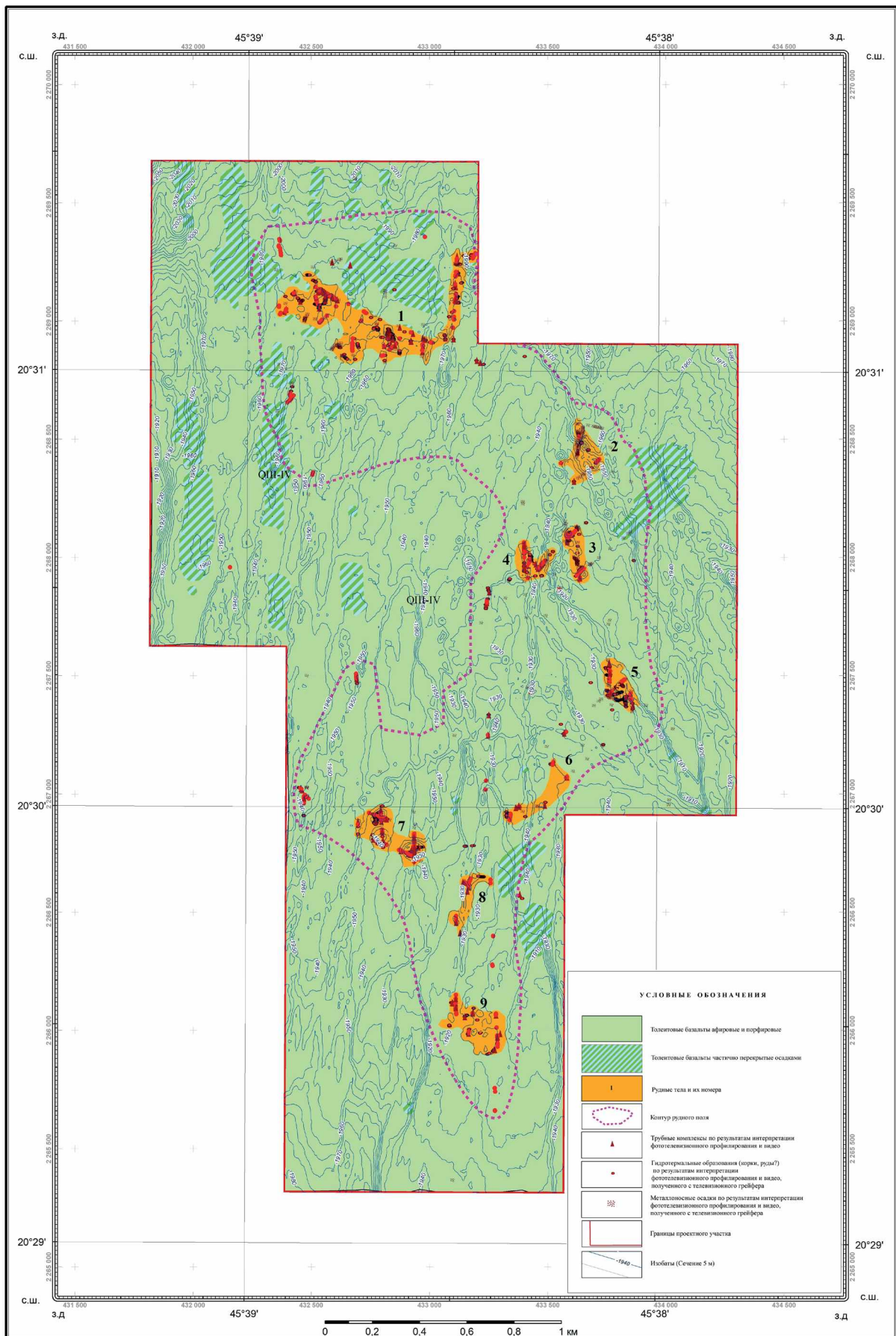
Рудные поля в Российском разведочном районе глубоководных полиметаллических сульфидов (РРР-ГПС) в Атлантическом океане представляют собой уникальные и значимые ресурсы, которые имеют важное значение для мировой экономики и нашей жизни в целом. На сегодня в пределах РРР-ГПС выявлено 20 рудных объектов глубоководных полиметаллических сульфидов в категориях рудных узлов, рудных полей и рудопроявлений. Одним из них является рудное поле Пюи де Фоль (координаты центра рудного поля: 20°30' с. ш., 45°38' з. д.), находящиеся в северной части исследуемого участка. Рудное поле открыто французскими исследователями в 1996 г., а российские ученые приступили к изучению Пюи де Фоль в 2008 г. в 31-м рейсе на НИС «Профессор Логачев». В 2022 г. начат второй этап исследования рудного поля – оценочный этап. По результатам работ были оконтурены девять рудных тел (рисунок).

Рудовмещающими породами являются базальты, представленные в основном афировыми разновидностями пиллоу-лав. Гидротермальные изменения отмечаются в базальтах, поднятых непосредственно с вершины вулкана, с микродисперсным напылением сульфидов по трещинам, редкими агрегатами атакамита насыщенно зеленого цвета и маломощными гидротермальными корками гидроокислов Fe и Mn на поверхности. В пределах рудного поля наблюдаются протяженные рудные постройки и холмы высотой до 18 м. Площадь рудного поля равна примерно 1 км<sup>2</sup>.

Гидротермальные образования включают различные морфологические типы такие как: сульфидные руды, оксигидроксидные рудные корки и опализированные рудные образования. Руды представлены массивными и полосчатыми, а также трубами. Встречаются несколько типов руд, наиболее распространенные: цинково-медно-колчеданные (Zn-Cu-Fe) и серноколчеданные (Fe-S).

Руды гидротермального поля Пюи де Фоль подняты с помощью телеграфифера в 45–47-м рейсах НИС «Профессор Логачев». Изучены макро- и микроскопически. Мелкие минеральные фазы диагностировали с помощью рентгенографического количественного фазового анализа (рентгеновский дифрактометр X Pert PRO MPD, CuK $\alpha$ -излучение, графитовый монохроматор, шаг сканирования 0,02 град). Химический состав основных рудных элементов определялся: Cu, Zn – атомно-абсорбционный метод (PinAAcle 500), Fe – атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой (Avio 500), точечный химический анализ минералов выполнен на сканирующем электронном микроскопе (ZEM 15).

В сульфидных рудах подтвержден достаточно простой минеральный состав: пирит, марказит, сфалерит, халькопирит (табл. 1) Текстуры руд вкрапленные, массивные, вкрапленно-массивные. Пирит образован рядом генераций – гипидиоморфный, аллотриоморфный и бактериальный; часто встречается вместе с марказитом. Халькопирит преимущественно аллотриоморфный. Сфалерит в основном аллотриоморфный, реже гипидиоморфный. В виде более редких минеральных фаз отмечаются халькозин, магнетит и гематит.



### Схема геологического строения рудного поля Пюи де Фоль

(по результатам работ 47-го рейса НИС «Профессор Логачев», построенная сотрудниками ФГБУ «ВНИИОкеангеология» и АО «ПМГРЭ»)

Руды характеризуются цинково-медно-серноколчеданной специализацией с переменным соотношением Zn, Cu и Fe. Самые распространенные медно-колчеданные руды, в меньшей степени цинково-колчеданные, серно-колчеданные, медные разновидности. Средняя концентрация элементов в рудах, а также диапазоны их значений, соответственно составляют:  $Cu_{cp} = 9,41\%$  (0,03–32,2 %),  $Zn_{cp} = 3,4\%$  (0,01–48,12 %),  $Fe_{cp} = 32,81\%$  (7,03–56,49 %); эти значения характерны с концентрациями элементов для руд полей, локализованных в поле базальтов. Руды поля Пюи де Фоль содержат благородные металлы –  $Au_{cp} = 0,05$  г/т (0,005–0,21),  $Ag_{cp} = 4,19$  г/т (0,03–32,0). Концентрации золота значительно ниже в сравнении не только с рудами, локализованными в поле ультраосновных пород, но также и рудами некоторых полей, где рудовмещающими породами являются базальты. Очевидно, что даже незначительно проявленная благороднометалльная минерализация (Au, Ag) связана с цинково-свинцовой составляющей руд.

Произведена оценка прогнозных ресурсов по категории  $P_2$  в пределах рудного поля Пюи де Фоль, рудные тела оконтурены по результатам батиметрической съемки и фототелепрофиллирования. Оконтурено девять рудных тел, восемь из которых подтверждены геологическим опробованием (телегрейфером и коробчатым пробоотборником). Форма рудных тел аппроксимируется уплощенным цилиндром с основанием неправильной формы, учитывается характер вершинных поверхностей рудных тел, наличие в рудных телах рудных построек, рассчитанных

Таблица 1

**Средний состав рудных минералов поля Пюи де Фоль (масс. %)**

Номер обр.	Кол-во ан.	Cu	Fe	Zn	Co	S	Всего	Кристаллохимическая формула
<b>Пирит</b>								
46L009G-1	6	0,17	41,42	1,1	0,33	53,08	96,1	(Fe <sub>0,9</sub> Zn <sub>0,02</sub> Co <sub>0,01</sub> ) <sub>0,93</sub> S <sub>2</sub>
46L009G-2	5	0,00	41,81	1,94	0,21	55,48	99,44	(Fe <sub>0,87</sub> Zn <sub>0,03</sub> ) <sub>0,90</sub> S <sub>2</sub>
46L009G-3	6	0,00	41,44	1,2	0,36	55,25	98,25	(Fe <sub>0,86</sub> Zn <sub>0,02</sub> Co <sub>0,01</sub> ) <sub>0,89</sub> S <sub>2</sub>
<b>Халькопирит</b>								
46L009G-1	1	37,57	26,18	0,00	0,00	33,46	97,21	Cu <sub>1,13</sub> Fe <sub>0,9</sub> S <sub>2</sub>
46L031G-4,1	6	39,4	26,68	0,00	0,00	33,04	99,12	Cu <sub>1,2</sub> Fe <sub>0,93</sub> S <sub>2</sub>
<b>Сфалерит</b>								
46L009G-1	4	0,00	2,12	62,63	0,00	32,27	97,02	(Zn <sub>0,95</sub> Fe <sub>0,04</sub> ) <sub>0,99</sub> S <sub>1,00</sub>
46L009G-2	4	0,00	3,47	62,93	0,14	31,53	98,07	(Zn <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,06</sub> ) <sub>1,04</sub> S <sub>1,00</sub>
46L009G-3	9	0,00	3,52	63,50	0,22	32,11	99,35	(Zn <sub>0,97</sub> Fe <sub>0,06</sub> ) <sub>1,03</sub> S <sub>1,00</sub>
46L033G-4,1	2	0,00	12,67	54,92	0,00	32,07	99,66	(Zn <sub>0,81</sub> Fe <sub>0,23</sub> ) <sub>1,04</sub> S <sub>1,00</sub>

Таблица 2

**Ресурсы металлов (т) в сульфидных рудах поля Пюи де Фоль**

Номер тела	Fe	Cu	Zn	Ag	Au
1	1 324 472	283 535	321 427	201	2,26
2	411 963	129 525	14 484	297	0,24
3	196 514	106 009	3 891	21	0,11
4	148 953	9 4835	33 050	568	0,11
5	216 512	35 629	51 784	361	0,40
6	208 773	65 166	27 765	202	0,26
7	612 673	194 832	18040	74	0,52
8	182 568	82 253	6002	109	0,11
9	242 592	6 858	21 604	55	0,07
<b>Сумма</b>	<b>3 545 021</b>	<b>998 641</b>	<b>498 046</b>	<b>1 887</b>	<b>4</b>

по формуле  $1/3Sh$ , где  $S$  – площадь контура рудной постройки,  $h$  – высота постройки. Мощность 10 м, средняя плотность руд для каждого тела варьируется от 2,18 (рудное тело девять), до 3,4 г/см<sup>3</sup> (рудное тело два).

После интерпретации данных площадь рудного поля равна 361 383 м<sup>2</sup>, мощность рудного тела – 10 м, средняя плотность – 2,81 г/см<sup>3</sup>, ресурсы влажной массы – 11 425 074 т.

#### Список литературы

1. Добрецова И. Г., Оськина Н. С. О взаимодействии базальтов с карбонатными осадками в районе 13–20° с. ш. Срединно-Атлантического хребта // Докл. РАН – 2015. – Т. 461. – № 3. – С. 307.
2. Отчет по объекту «Геолого-геофизические исследования с целью выделения участков, перспективных на ГПС, в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта (в пределах 19–21° с. ш.) и поисковые работы на участке 22° 30' с. ш.», (31-й рейс НИС «Профессор Логачев»). ФГУНПП «ПМГРЭ», г. Ломоносов, 2009.
3. Отчет по объекту «Геологическая подготовка материалов с целью выполнения обязательств перед Международным органом по морскому дну (МОМД) в соответствии с контрактом на разведку глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС)» АО «ПМГРЭ» (АО «Росгеология»). СПб., 2022.
4. Отчет по объекту «Оценочные работы на рудных полях северной части Российского разведочного района глубоководных полиметаллических сульфидов (PPP-ГПС) в Атлантическом океане» АО «ПМГРЭ» (АО «Росгеология»). СПб., 2023.

## МИНЕРАЛОГИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕВОНСКОГО ЭПИТЕРМАЛЬНОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ КАЛАРСКОЕ (ГОРНАЯ ШОРИЯ)

П. Н. Лейбгам

*<sup>1</sup>ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», Москва, leibham@tsnigri.ru*

Каларское Au-Ag рудопроявление расположено в западной части Алтае-Саянской складчатой области в пределах одноименного рудного поля и приурочено к Кабурчакской ранне-средне-девонской вулкано-тектонической структуре.

Формирование вышеуказанной структуры, как и схожих структур вокруг, связывают с девонско-раннекаменноугольными субдукционными событиями на периферии Сибирского континента [2; 7].

Стратифицированные образования в пределах Каларского рудного поля представлены нижней толщей ранне-среднедевонского учуленско-казанкольского комплекса – преимущественно эффузивами среднего и основного состава, которые к юго-западу сменяются кислыми разностями.

Ранее образованные вулканиты по разрывным нарушениям подверглись метасоматическим изменениям, которые проявились как в полном изменении пород, так и в частичном с сохранением реликтов первичных минералов и структурных особенностей пород. Наиболее ранние метасоматиты – пропилиты, имеют широкое распространение и в первоначальном виде встречаются в основном вокруг центральной зоны, в краевых частях рудопроявления. Изменение пород выражено в образовании эпидот-хлорит-кварц-альбитовой и хлорит-альбит-кварцевой ассоциаций с сохранением первичной порфириновой структуры вулканитов. Среди жильных минералов в пропилитах преобладают кальцит, кварц и халцедон, реже отмечаются халькопирит, пирротин, марказит и пирит [4; 8].

На ранее сформированные пропилиты были наложены аргиллизиты, которые имеют локальное распространение и встречаются близ рудных жил в центральной зоне. В этих метасоматитах почти полностью отсутствуют черты первичных структур и текстур вулканитов. Аргиллизиты сложены кварцем, иллитом и серицитом. В участках перехода от аргиллизитов к пропилитам в их составе также отмечены хлорит, альбит и реликты эпидота [4; 8].

Наиболее распространенными рудными минералами в аргиллизитах являются пирит и арсенопирит, которые встречаются как в виде вкраплений, так и в виде массивных жил (мощностью до 0,5 м; 65–70 об. %). Реже были отмечены сфалерит, галенит, халькопирит, тетраэдрит-(Zn), тетраэдрит-(Fe), самородное золото и электрум, а также сульфосоли Pb, Bi, Ag, Cu (джерсонит, бурнонит и др.) и теллуриды Au, Ag, Pb [4; 6; 8; 9].

Исследования внутреннего строения пирита из брекчированных рудных жил центральной зоны дополняют ранее проведенное деление на генерации, которое детальнее будет описано ниже [9]. Электролитическое структурное травление проводилось при помощи раствора аммиака 10 % (электролит), катода и анода по методике, описанной в [1]. Время травления подбиралось индивидуально для каждого полированного шлифа. Окончание травления определялось визуально по появлению окрашенной пленки.

В результате электролитического травления пирита были выявлены следующие особенности внутреннего строения кристаллов и их обломков (рисунок):

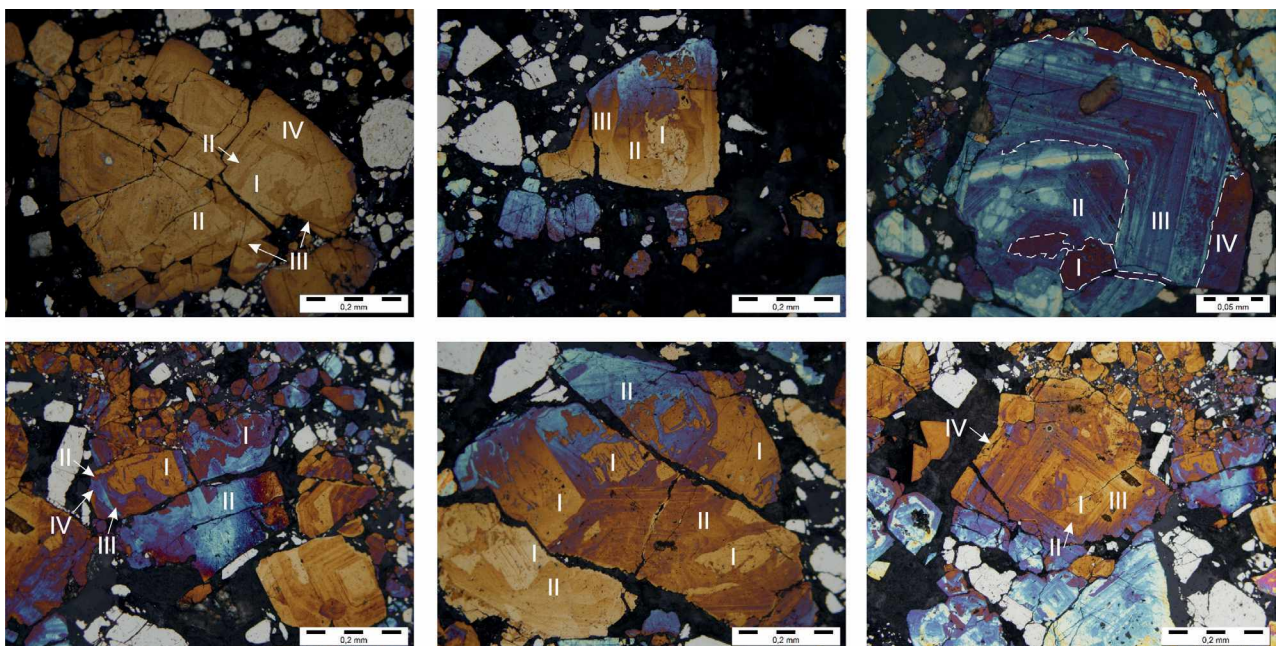
- зональное строение, которое развито преимущественно в краевой части кристаллов;
- обломки предыдущих генераций;
- в центральных частях кристаллов и обломков – индивиды неправильной формы, схожие по морфологии с полными псевдоморфозами пирита по пирротину в неизменных и слабо измененных пропилитах.

По результатам этих и предыдущих исследований [9] выделяются 4 генерации пирита, основывающиеся на его морфологии и внутреннем строении.

Пирит 1. Минерал в ассоциации с марказитом слагает тонкокристаллические псевдоморфозы по пирротину 1, нередко с образованием структуры «птичий глаз». Эта генерация встречается преимущественно в пропилитах в краевых зонах рудопроявления. В пределах центральной зоны пирит 1 встречен во внутренних частях кристаллов и обломков (рисунок, I).

Пирит 2. Для этой генерации по предыдущим исследованиям характерно ситовидное строение, образованное за счет включений слюдястых минералов, кварца и лейкоксена с решетчатым строением (псевдоморфозы лейкоксена по ильмениту в магнетите) из аргиллизитов. Пирит 2 цементирует аллотриоморфные индивиды пирита 1 и имеет зональное строение (рисунок, II).

Пирит 3. Идиоморфные кристаллы слагают прожилки в аргиллизитах, а также встречаются в зальбандах жил. Стоит отметить, что какие-либо включения почти полностью отсутствуют. Обломки пирита 3, как и пирита 2, встречаются в арсенопирите. Последний подчеркивает морфологию кристаллов и агрегатов этих генераций, т. е. обладает меньшей степенью идиоморфизма. Пирит 3 по результатам травления имеет отчетливое зональное строение и обрастает обломки пирита 2 (рисунок, III).



#### Внутреннее строение пирита по результатам электролитического структурного травления

Римскими цифрами I, II, III, IV обозначены генерации пирита. Пунктирной линией для примера обозначены границы разных генераций



Пирит 4 выполняет пустоты в катаклазированных агрегатах арсенопирита и подчеркивает форму его кристаллов, также нередко содержит его обломки. На рисунке (IV) видно, что, пирит 4-й генерации уже не имеет зонального строения и встречается по кайме индивидов пирита 3 генерации.

В кварце и карбонате из образцов керна скважин краевой В-С-В и центральной зон Каларского рудопроявления ранее были установлены и описаны флюидные включения двух генераций, однако без привязки к зонам Каларского рудопроявления [3]. К ранней генерации, распространенной в краевой зоне, относится гетерогенный (кипящий) флюид, представленный ассоциацией включений плотного метана ( $0,19 \text{ г/см}^3$ ) и водно-солевого раствора (8,2 масс. % NaCl-экв.), захваченной при температуре 140–150 °С и давлении около 0,5 кбар на глубине приблизительно 2 км от палеоповерхности. Более поздние водные растворы, включения которых встречаются как в краевой, так и в центральной зоне, имели пониженную температуру (110–140 °С) и соленость (3,8–6,5 масс. % NaCl-экв.), что может свидетельствовать о разбавлении ранних флюидов метеорными водами на завершающей стадии минералообразования.

Все вышеизложенное, как и полученные данные о генерациях пирита, позволяют дополнить и расширить последовательность минералообразования в пределах Каларского рудопроявления, построенную по предыдущим исследованиям.

*Стадия пропилитизации вулканических пород.* На этой стадии вулканы и субвулканические тела основного–кислого состава подверглись воздействию близнеутральных растворов с образованием альбит-эпидот-хлоритовой ассоциации, которая затем сменилась на более низкотемпературную кварц-хлорит-альбитовую ассоциацию. В пропилитах также сформировались халькопирит и пирротин, который в завершении стадии заместился марказит-пиритовым агрегатом (пирит 1).

*Стадия аргиллизации ранее сформированных метасоматитов.* В процессе аргиллизации пропилитизированных вулканических тел их первичные структуры почти не сохранились, а ранние ассоциации близ прожилков заместились кварц-иллитовой ассоциацией с вкрапленной пиритовой минерализацией (пирит 2). Пирит сформировался за счет ранее образованного пирротина. Эта стадия завершилась формированием пиритовых жил и прожилков (пирит 3).

*Ранняя гидротермальная стадия.* После катакластических процессов, наложенных на ранее сформированные породы, происходило образование пирротин-арсенопиритовой ассоциации. Здесь также подразумевается образование раннего высокопробного самородного золота. На завершении этой стадии формировался пирит 4-й генерации и жильный кварц (ранняя генерация включений).

*Поздняя гидротермальная стадия.* Повторные катакластические процессы привели к образованию гидротермальных брекчий по ранее сформированным жилам и метасоматитам. В начале этой стадии сформировались кварц и блеклая руда, затем эта ассоциация сменилась сфалеритом, халькопиритом (включения в сфалерите) и карбонатом (поздняя генерация включений). На завершении этой стадии образовались галенит, халькопирит, сульфосоли Pb, Bi, Ag, Cu и электрум.

## Литература

1. Баженов В. И. К методике электролитического структурного травления железосодержащих сульфидов // Известия Томского Ордена Красного Знамени Политехнического Института им. С. М. Кирова. – 1964. – Т. 127, № 1. – С. 208–209.
2. Берзин Н. А., Кунгурцев Л. В. Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-саинской области // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37, № 1. – С. 63–81.
3. Берковский Е. М., Лейбгам П. Н. Термобарогеохимические параметры кварца Каларского рудопроявления (Горная Шория) // Гидичное собрание Российского Минералогического Общества «Минералогические исследования в интересах развития минерально-сырьевого комплекса России и создания современных технологий», 2024, Апатиты, Россия: сборник материалов конференции. – С. 114–115.
4. Лейбгам П. Н. Минералого-геохимические характеристики Каларского Au-Ag рудопроявления (Горная Шория) : Магистерская диссертация, 2021.
5. Соколова Л. А., Якубович О. В., Лейбгам П. Н. и др. (U,Th)-Не датирование пирита и новые данные о минералогии эпитептермальных руд Каларского рудопроявления, Горная Шория // Новое в познании процессов рудообразования: Двенадцатая Российская молодежная научно-практическая школа: сборник материалов конференции. – С. 217–220.

6. Черных А. И., Неволько П. А., Борисенко А. С. Эпитермальное золото-серебряное оруденение Кабурчакского рудного узла (Горная Шория) – особенности локализации, минералогия и возраст // Минералогия, рудные и нерудные полезные ископаемые. – 2013. – Т. 15, № 3. – С. 76–82.

7. Шокальский С. П., Бабин Г. А., Владимиров А. Г. и др. Корреляция магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области. – Новосибирск : СО РАН, 2000. – 187 с.

8. Leibham P. N. Au-Ag mineralization of the Kalar orefield, Gornaya Shoriya, Russia // The 16th Biennial Meeting of the Society for Geology Applied to Mineral Deposits (SGA) «The critical role of minerals in the carbon-neutral future. New Zealand: abstracts volume 2022. – Vol. 1. – P. 192–195.

9. Chernykh A. I., Leibham P. N., Sokolova L. A. et al. The Devonian Kalar epithermal ore-occurrence of the Ka-burchak Au-Ag ore cluster, Altai-Sayan Folded Belt, Russia: geological setting, mineralogical, geochemical, and geochronological features // Minerals. – 2024. – Vol. 14, no. 7.

## СТРУКТУРНЫЙ КОНТРОЛЬ ДУКАТСКОГО ЗОЛОТО-СЕРЕБРЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Г. Г. Мальцев, А. С. Якубчук

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва,  
georgiy\_maltsev\_jr@mail.ru*

Дукатское рудное поле приурочено к Балыгычано-Сугойскому прогибу в тыловой части Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП). На территории прогиба расположены серебряные и сопровождающие их олово-серебряные и олово-серебро-полиметаллические месторождения Дукат, Лунный, Арылах, Теплый, Зеленый, Аскольд, Красин, Иргучан, Малютка, а также Гольцовый, Мечта, Терем, Тидит (рис. 1).

По международной классификации месторождение относится к эпитермальным серебряным месторождениям с золотом. Основная серебряная минерализация месторождения Дукат

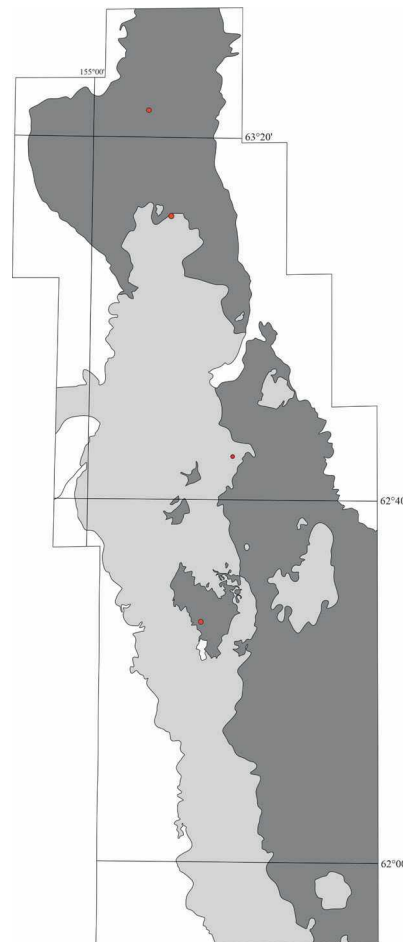


Рис. 1. Региональная схема Дукатского рудного поля

находится в кварцевых жильных телах трех разновидностей: кварц-адуляровой, кварц-родонитовой, кварц-сульфидной (рис. 2).

Анализ тектонических элементов и их соотношение с рудными телами месторождения Дукат показывает, что все они подчинены отрицательной цветковой структуре (рис. 3) и являются наложенными друг на друга в процессе рудообразования и формирования вмещающей структуры.

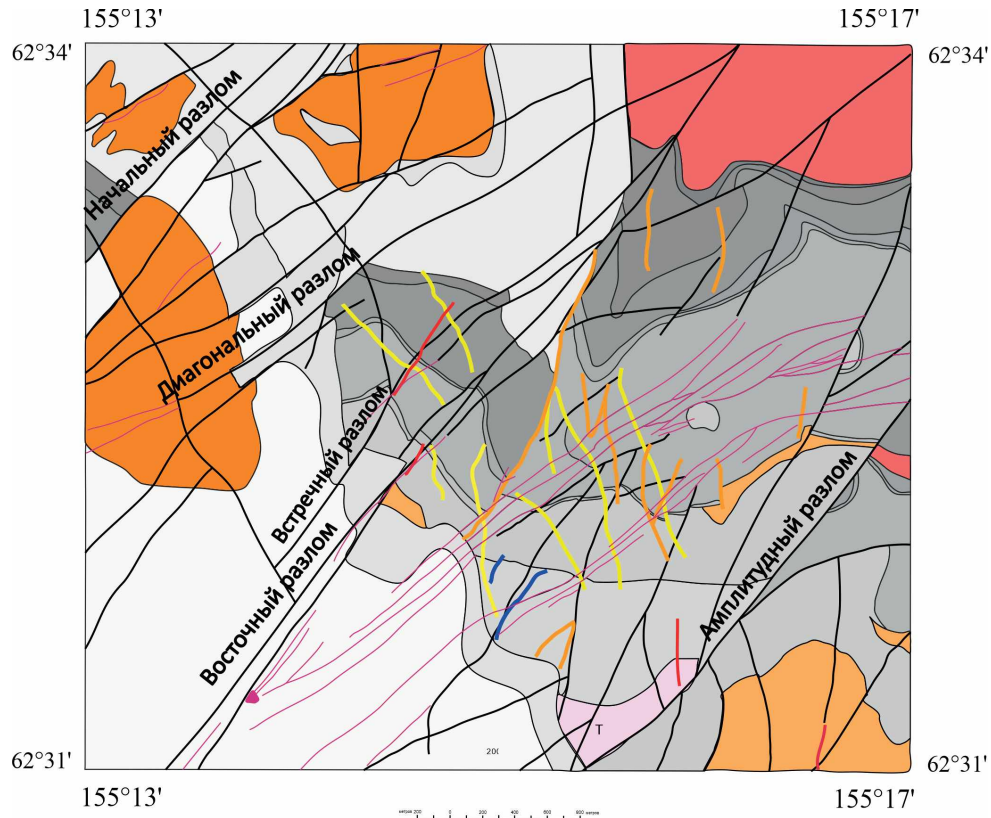


Рис. 2. Геологическая карта Дукатского месторождения

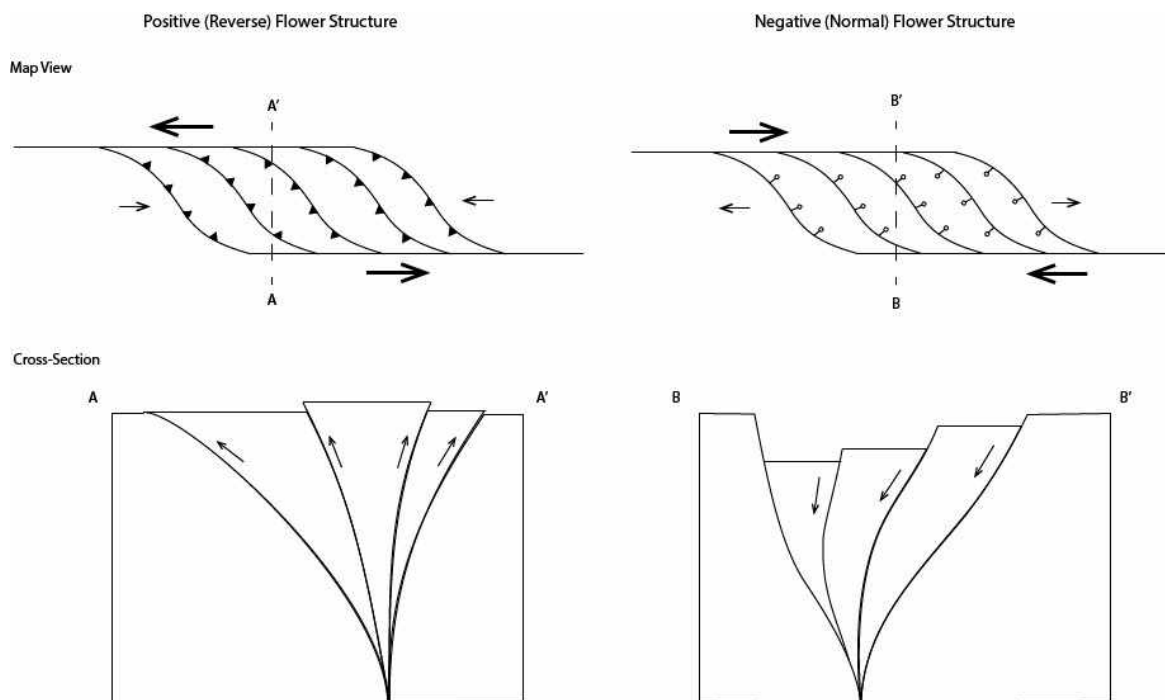
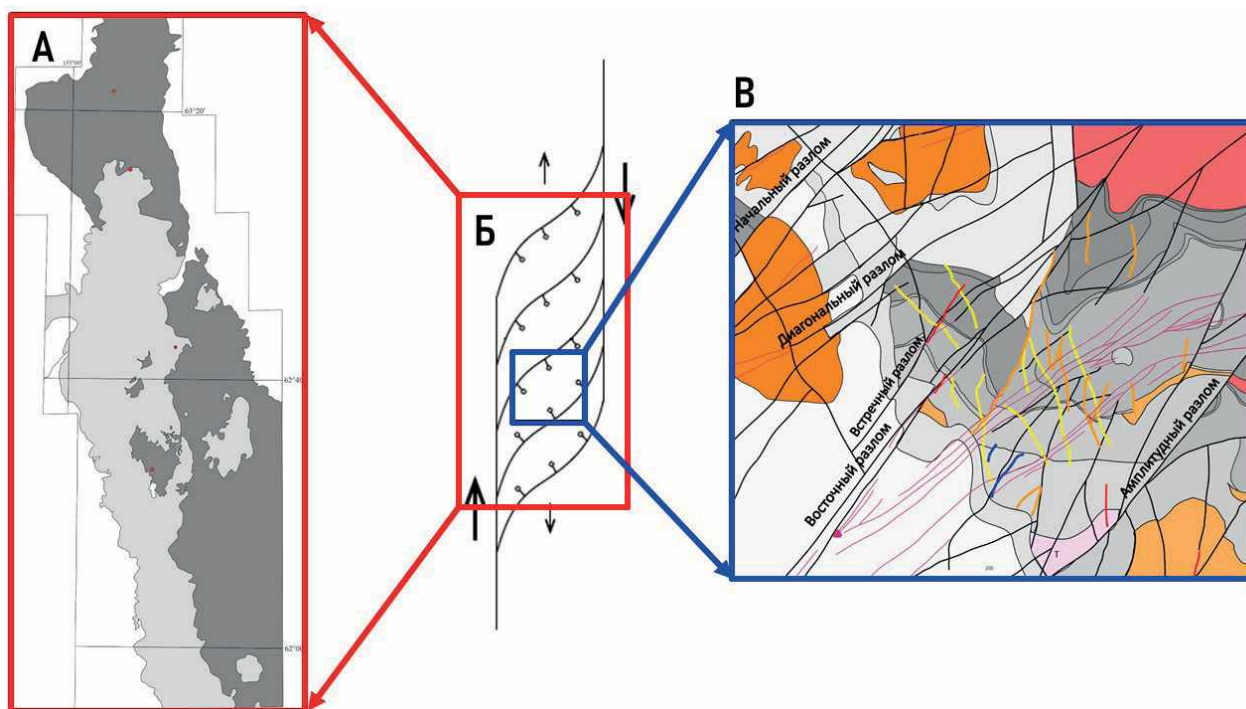


Рис. 3. Пример отрицательной (синклиальной) цветковой структуры с механикой образования (по Michael E. Oskin, 2021)



**Рис. 4. Соответствие разломной структуры Балыгычано-Сугойского прогиба (А) идеализированной модели сдвигового дуплекса (Б) и положение в ней Дукатского месторождения (В)**

Дукатское месторождение является самой малой структурной единицей в масштабе выделенного сдвигового дуплекса растяжения, контролирующего Балагычано-Сугойский прогиб.

Цветковая структура может многократно повторяться в разных масштабах в пределах всего дуплекса. Другие серебряно-золотые эпипермальные месторождения прогиба могут также иметь похожий структурный контроль (рис. 4).

#### Литература

1. Годовой отчет компании «Полиметалл» за 2008 год.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Изд. 2-е. Серия Сугойская. Лист Р-56-ХVIII (Омсукчан). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2007. – 315 с.
3. Константинов М. М., Наталенко В. Е., Калинин А. И. и др. Золото-серебряное месторождение Дукач. – М. : Недра, 1998. – 203 с.
4. Савва Н. Е. Минералогия серебра Северо-Востока России / Науч. ред. А. А. Сидоров; Сев.-Вост. комплекс. НИИ ДВО РАН // Тр. СВКНИИ ДВО РАН. Вып. 78. – М. : Триумф, 2018. – 544 с.

## ГЕНЕЗИС МАРГАНЦЕВЫХ РУД ПРИСАЯНЬЯ

И. П. Мамаев

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
Москва, giger3612@gmail.com*

Летом 2023 г. автор принимал участие в прогнозно-минерагенических работах в составе полевой партии ФГБУ «ВИМС» на территории Тайшетского и Нижнеудинского районов Иркутской области, целью которых было изучение марганценосности Присаянского прогиба (Уватский рудный район и Курейный узел рудопроявлений, подчиненные Присаянской минерагенической зоне). В ходе работ автор посетил Николаевское месторождение, а также ряд рудопроявлений. На основе литературных данных, результатов, проведенных автором минералого-петрографических (всего изучено 42 полированных препарата) и химико-аналитических (всего проанализировано 67 проб, химический состав которых был получен методами титриметрии, ICP-AES/MS) исследований были сделаны следующие выводы о происхождении марганцевых руд Присаянья.

Так как основные рудные минералы на исследуемых объектах месторождения – пиролюзит и псиломелан, являющиеся оксидами, главным образом Mn(IV) (Mn(II) представлены в меньшей степени), то очевидна окислительная обстановка формирования руд.

На месторождениях осадочного генезиса оксидными являются только руды, сформировавшиеся выше границы раздела (окислительно-восстановительного барьера) основной бескислородной толщи воды и приповерхностной, насыщенной кислородом толщи. Подтвержденное в ходе опытно-методических работ геофизическими изысканиями пластовое залегание исследуемых руд может говорить в пользу осадочного генезиса Николаевского месторождения, однако в таком случае должны обнаруживаться значительные объемы карбонатных марганцевых руд, сформировавшихся в ходе диагенеза при контакте с карбонатным субстратом ниже окислительно-восстановительного барьера. И хотя само наличие этого процесса подтверждается фактом обогащения марганцем карбонатных пород карагасской серии, установленным предшественниками [18; 21], значительные скопления карбонатных марганцевых руд в пределах Присаянья не были обнаружены, что ставит под сомнение формирование основных масс оксидных руд осадочным путем. Возможно, что непостоянство тектонического режима Присаянского прогиба и невыдержанность литолого-фациальных отложений карагасской серии не позволяли накапливаться мощным осадочным рудным толщам, в результате чего осадочно-дигенетические процессы привели лишь к обогащению вмещающих пород марганцем без формирования руд.

Другим вызывающим сомнение фактором является довольно высокое содержание железа в исследуемых марганцевых рудах, в то время как в осадочных месторождениях наблюдается значительное фракционирование марганца и железа (так как последнее формирует сульфиды при реакции с сероводородом, что не характерно для марганца) [15]. Скорее всего уже постседиментационные процессы способствовали совместной мобилизации и осаждению железа и марганца.

Наличие вулканогенной составляющей в породах карагасской серии, установленное предшественниками [18, 21], может говорить в пользу вулканогенно-осадочного генезиса. Однако только на одном рудопроявлении (Аршанское) в пределах Присаянья были обнаружены значительные скопления браунита – главного рудного для данного генетического типа. Отсутствие браунита и родохрозита на исследуемых объектах ставит под сомнение вулканогенно-осадочное происхождение руд.

По своим минералого-геохимическим особенностям руды исследуемых объектов не соответствуют ни одному из подтипов непосредственно гидротермально-осадочных месторождений. Но, с другой стороны, полученные автором значения европиевой аномалии для руд и вмещающих пород исследуемых объектов говорят о значительной роли гидротермального процесса в рудообразовании. К тому же некоторые исследователи считают, что происхождение одного из главных марганцевых объектов Присаянья, Шунгулежского месторождения, является

гидротермальным, обосновывая это подходящей тектоникой и проявлениями гидротермальной деятельности, связанной с разломами [2]. Скорее всего исследуемые марганцеворудные объекты не являются гидротермально-осадочными в прямом смысле, однако низкотемпературные гидротермы могли быть главным источником марганца в бассейне седиментации. Возможно, локально более поздние гидротермальные процессы играли прямую роль в формировании руд.

Ряд исследователей [6; 10; 18; 21] считают происхождение марганцевых руд Присяянья инфильтрационно-остаточным, отмечая заметную подверженность пород карагасской серии процессам гипергенного корообразования (контролируемого тектоническими нарушениями и геоморфологическими особенностями) и приуроченность наблюдаемых месторождений и проявлений марганца к мезо-кайнозойским корам выветривания (за некоторыми исключениями, например, Аршанским рудопроявлением).

В ходе проведения опытно-методических работ на Николаевском месторождении и рудопроявлениях Рудный и Левобережное были обнаружены рудовмещающие породы, по своим петрографическим свойствам похожие на продукты корообразования (предположительно, относящиеся к гидрослюдистой и каолинитовой зонам коры выветривания). Судя по палеоклиматическим данным [6], коры выветривания мел-палеогенового возраста в Присяянье главным образом относятся к гумидному типу. Наличие колломорфных агрегатов, установленных автором в ходе минералого-петрографических исследований руд ниже- и среднетагульской подсвет и особенности распределения редокс-чувствительных редкоземельных элементов в породах также говорят в пользу гипергенного, инфильтрационно-остаточного генезиса. Формирование гипергенных оксидных руд могло происходить в результате мобилизации восстановленных  $Mn^{2+}$  и  $Fe^{2+}$ , их миграции с поровыми и метеорными водами в составе металлорганических комплексов (гуматов и фульватов) и последующем окислении и осаждении в гидрослюдистой и каолинитовой зонах коры выветривания. Пластообразная морфология рудных тел может быть объяснена частичным унаследованием их формы от первичных, обогащенных марганцем в рифейское время пород или различной проницаемостью пород для участвующих в гипергенезе.

Обобщая приведенные данные, можно предположить следующую генетическую модель формирования исследуемых марганцеворудных объектов. Первичное обогащение пород карагасской серии марганцем происходило в аноксидных (даже, вполне вероятно, эвксинных) условиях в ходе диагенеза при контакте обогащенных  $Mn^{2+}$  вод с субстратом. Основным источником марганца в бассейне седиментации был низкотемпературный гидротермальный процесс, меньшее значение мог иметь размыв более древних магматических пород, например гранитоидов саянского комплекса (Мотова и др., 2006). Образование же оксидных руд произошло в результате гипергенной переработки пород тагульской свиты в мел-палеогеновое время в условиях гумидного климата (и, возможно, гидротермальной переработки, связанной с зонами крупных разломов). Данные выводы не противоречат преобладающим в научной среде взглядам на формирование марганцевых руд Присяянья.

### Литература

1. Авдонин В. В., Бойцов В. Е., Григорьев В. М. и др. Месторождения металлических полезных ископаемых. – М. : Трикта, 2005. – 703 с.
2. Аксенов В. Н. Генезис шунгулежского месторождения марганцевых руд (Присяянский прогиб) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН. – 2010. – № 1. – С. 41–46.
3. Берзин Н. А. Сравнительная характеристика докембрийской структуры Прибайкалья и Присяянья // Тектоника Сибири. Т. 3. – М. : Наука, 1970. – С. 213–220.
4. Васюков Е. А., Метелкин Д. В., Летников Ф. А. и др. Новые изотопные ограничения на время формирования долеритов Нерсинского комплекса Бирюсинского Присяянья // Доклады Академии наук. – 2019. – Т. 485, № 5. – С. 594–598.
5. Галимова Т. Ф., Пащикова А. Г., Поваринцева С. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Ангаро-Енисейская. Лист N-47 – Нижнеудинск. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 652 с.

6. Головки В. А. Геолого-геохимические условия формирования гипергенных месторождений марганца и их практическое значение // Марганцевое рудообразование на территории СССР. – М. : Наука, 1984. – С. 36.
7. Дубинин А. В. Геохимия редкоземельных элементов в Океане. – М. : Наука, 2006. – 360 с.
8. Кулешов В. Н., Бычков А. Ю., Свиридов Л. И. Особенности распределения редкоземельных элементов в породах и рудах Порожнинского месторождения марганца (Енисейский кряж, Красноярский край) // Литология и полезные ископаемые. – 2022. – № 4. – С. 344–361.
9. Милановский Е. Е. Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии). – М. : Изд-во МГУ, 1996. – 448 с.
10. Мотова З. Л., Донская Т. В., Гладколюб Д. П. и др. Состав и условия формирования позднедокембрийских терригенных пород карагасской серии (бирюсинское Присяянье) // Геосферные исследования. – 2020. – № 2. – С. 44–63.
11. Орлов В. П., Малич Н. С. Восточная Сибирь // Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2002. – 396 с.
12. Тейлор С. Р., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция / Пер. с англ. Р. Н. Соболева, Л. Т. Соболевой, ред. Л. С. Бородин. – М. : Мир, 1988. – 381 с.
13. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимия марганца в процессах гипергенеза: обзор // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2013. – Т. 5, № 1. – С. 21–36.
14. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Гидротермальная геохимия марганца: обзор // Вестник. – 2013, № 1. – С. 10–13.
15. Supriya R. Environments and Processes of Manganese Deposition // Economic Geology. 1992. – Vol. 87. – P. 1218–1236.
16. Maynard J. B. The Chemistry of Manganese Ores through Time: A Signal of Increasing Diversity of Earth-Surface Environments // Economic Geology. – 2010. – Vol. 105. – P. 535–552.
17. Беляевский В. И., Димов В. А. Отчет о результатах поисково-ревизионных работ на марганец в СВ Присяянье Поисково-ревизионной и Мэдэксской партий за 1966–1970 гг. ТФ «Иркутскгеология», 1971. Росгеолфонд, № 313319.
18. Бессолицын Е. П., Корабельникова В. В., Борисов В. А. Марганценосность Северо-Западного Присяянья. Отчет по темам: «Условия формирования марганцеворудных месторождений, промышленные типы руд и перспективная оценка Нижнеудинско-Тайшетского района» и «Прогнозная карта марганценосности Присяянского краевого прогиба в масштабе 1 : 100 000»; 1966–1969 гг. ГТП Иркутскгеология, 1969.
19. Галимова Т. Ф., Бормоткина Л. А. Унифицированная легенда для геологических карт масштаба 1 : 50 000 Присяянской и Бирюсинской серий листов (Восточный Саян), 1981. Росгеолфонд, № 391038.
20. Головки В. А., Суслов А. Т. и др. Изучение вещественного состава марганцевых руд для оценки перспектив марганценосности Присяянского предгорного прогиба, 1968. Росгеолфонд, № 285193.
21. Федотов В. В., Топычканов В. Е., Паныко В. В. и др. Отчет о результатах поисково-оценочных работ в пределах Уватской группы рудопроявлений марганца (Николаевское месторождение) за 1992–1998 гг. с подсчетом запасов на 01.01.1999 г. ТКЗ 422. АО «Саяны», 1999.
22. Хисамутдинов Ш. П., Коноплев С. П. Стратиграфия, фация, палеогеография верхнерифейских отложений Северо-Западного Присяянья и перспективы осадочных полезных ископаемых (фосфориты, марганец, высокоглиноземистые аргиллиты). Отчет Тематической партии за 1964–1966 гг.), 1966. Росгеолфонд, № 276449.

## РЕЗУЛЬТАТЫ РЕГИОНАЛЬНЫХ СРЕДНЕМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЙОНА

С. Л. Новочадов, В. В. Шарапов, А. А. Николаев

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Московский филиал, Москва, sergei.novochadov@mail.ru*

Представлены результаты работ Московского филиала Геологического института им. Карпинского за последние 10 лет по составлению и подготовке к изданию комплектов Государственной геологической карты масштаба 1 : 200 000 в пределах Центрального экономического района, сформировавшегося на основе добычи и переработки энергетических углей Подмосковского бурого угольного бассейна.

Эти работы в соответствии с Положением об этапах и стадиях относятся к первому этапу – работы общегеологического минерагенического назначения, первой стадии – региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых. Объектами изучения

являются наиболее перспективные регионы Российской Федерации, а также важнейшие экономически освоенные и экологически напряженные. К последним относится и изучаемый нами регион.

В результате проведения работ коллективом геологов составлена и подготовлена к изданию Государственная геологическая карта второго поколения на группу из четырех номенклатурных листов: N-37-XXII (Скопин), N-37-XVI (Рязань), N-37-XVII (Спасск-Рязанский), N-37-XXI (Узловая). В работе в настоящее время находится три листа, по одному планируются работы:

- по листу N-37-XX (Плавск) завершены работы по доизучению;
- по листу N-37-XXVIII (Данков) в этом году завершаются работы по доизучению;
- по листу N-37-XIV (Тула), окончание работ по доизучению в 2026 г;
- по листу (N-36-IX), или группе листов (N-36-VII, N-36-VIII, N-36-IX) условно – «Смоленский объект», работы планируются в 2025–2027 гг.

В результате работ по доизучению и последующей подготовке к изданию был выполнен большой объем работ:

- собран и обобщен материал предшественников за период после издания карт первого поколения;
- выполнены полевые работы, включающие: маршрутные исследования – 2700 пог. км; горнопроходческие – шурфы расчистки в объеме 131,5 м<sup>3</sup>; бурение поисково-картировочных скважин 129 шт. общим метражом 3700 м; различные виды опробования – для уточнения возраста вскрытых отложений (фауна, м/ф, сп/п) – 65 образцов, для изучения качества полезной толщи – карбонатных пород (флюсовых известняков и металлургических доломитов) – 174 пробы, песков кварцевых (формовочных, стекольных) – 193 пробы, глин (тугоплавких и огнеупорных) – 217 проб;
- проведены лабораторные исследования.

В результате обработки создано ядро современных цифровых геологических карт на площади – 34 184 км<sup>2</sup>, что составляет 5 % от территории ЦФО и 25 % от всех карт среднего (1 : 200 000) масштаба второго поколения.

В ходе составления комплектов геологических карт решался целый ряд частных геологических задач:

- детально изучены литолого-фациальные особенности тульской свиты, что позволило выделить и закартировать две подсвиты и уточнить перспективы на тугоплавкие и огнеупорные глины, а также кварцевые формовочные и стекольные пески;
- в результате анализа мощностей, строения состава фаунистических комплексов отложений алексинской свиты удалось получить новые данные о соотношении органогенных и хемогенных разностей известняков. Они необходимы при планировании поисковых работ на различные типы карбонатных пород;
- детально, на полную мощность – 196 м изучено строение аллювиальных образований азовской палеодолины среднекаменноугольного возраста, перспективной на уран-редкометалльную минерализацию, россыпи титана и циркона, тугоплавкие и огнеупорные глины;
- впервые выделены и закартированы верхнемеловые морские отложения в южной части Московской впадины, вблизи границы их распространения;
- в разрезе аллювиальных образований Кривоборской и Ламкинской палеодолин детально изучено строение белогорской и тихососновской свит, содержащих линзы чистых кварцевых формовочных и стекольных песков;
- в процессе картирования четвертичных образований прослежены и закартированы гляциолимнические и гляциофлювиальные образования времени максимального развития раннеплейстоценового – донского ледника и времени его отступления, что позволило уточнить границы распространения месторождений строительных материалов: песков и кирпичного сырья;



– в части экологии выполнена оценка радиационной обстановки в пределах Чернобыльско-го следа, изучен химический состав осадков и сернокислых инфильтратов, терриконов; закартированы проявления карста.

В части проведения работ по поискам наиболее дефицитных видов полезных ископаемых за истекший период были выделены 24 прогнозные площади, по 18 из них была проведена оценка прогнозных ресурсов по категории  $P_3$  и составлены паспорта:

– девять прогнозных площадей тугоплавких и огнеупорных глин, суммарные прогнозные ресурсы 477,7 млн т;

– семь прогнозных площадей песков кварцевых стекольных и формовочных, суммарные прогнозные ресурсы 2242,9 млн т;

– шесть прогнозных площадей карбонатного сырья флюсов и металлургического сырья, прогнозные ресурсы – 836 млн т;

– две прогнозные площади россыпей титан-циркониевых, прогнозные ресурсы суммарно составляют 0,88 млн т.

Наиболее интересными, на наш взгляд являются результаты, полученные при оценке прогнозных ресурсов категории  $P_2$ . В результате проведения работ на площади листа N-37-XXI (Узловая) в 2020–2022 гг. были проведены поисковые работы на площади Молоденки-Елизаветинское и выявлены горизонты огнеупорных и тугоплавких глин верхней и нижней под-свит тульской свиты и бобриковской свиты:

– «надизвестняковые» тугоплавкие глины с температурой плавления 1380–1560 °С, с содержанием  $Al_2O_3$  15–24 %, прогнозные ресурсы составляют 94,6 млн т;

– «надугольные» тугоплавкие глины с температурой плавления 1460–1580 °С, с содержанием  $Al_2O_3$  19,4–27,8 %, прогнозные ресурсы составляют 20,3 млн т;

– «подугольные» огнеупорные глины с температурой плавления 1640–1700 °С, с содержанием  $Al_2O_3$  26,6–33,8 %, прогнозные ресурсы составляют 5,03 млн т.

Всего в соответствии с протоколом № 4 НТС по апробации прогнозных ресурсов ТПИ ВИМС от 23 июня 2023 г. на площади Молоденки-Елизаветинское рекомендовано к учету 98,3 млн т тугоплавких и огнеупорных глин, в том числе 5,2 млн т огнеупорных, и 93,1 млн т тугоплавких.

В настоящее время завершаются работы по оценке прогнозных ресурсов категории  $P_2$  кварцевых формовочных песков на площади Пиково-Ломовое, в северной части Липецкой области, лист N-37-XXVIII. Полезная толща приурочена к аллювиальным образованиям тихососновской свиты гелазийского яруса нижнего плейстоцена. Мощность вскрыши – 12 м, мощность полезной толщи – 25 м. Качественный состав песков полезной толщи (%):  $SiO_2$  – 98,8;  $Fe_2O_3$  – 0,15;  $Al_2O_3$  – 0,69. Средний диаметр зерен 0,19 мм. Однородность – от 40 до 70. Содержание кварца – 99,5 %. Выход тяжелой фракции – 0,003 %. По предварительной оценке, прогнозные ресурсы по категории  $P_2$  кварцевых формовочных песков марки  $1K_1O_3025$  составляют 1500 млн т.

С целью повышения эффективности и получения реальной отдачи работ по среднемасштабному картографированию основными задачами при проведении ГДП-200 должны являться:

– ревизия минерально-сырьевой базы с применением геолого-экономических исследований;

– создание комплекта геологических карт второго поколения на принципах объемного геологического картирования с широким применением геофизических методов;

– проведение анализа потребностей предприятий региона в видах и объемах минерального сырья, отвечающего современным и перспективным требованиям;

– ревизия существующего Нераспределенного фонда недр с учетом существующих обременений;

– подготовка паспортов и пакетов документов для лицензирования, включающих геолого-экономическую оценку по укрупненным показателям инвестиционно-привлекательных объектов наиболее ликвидных полезных ископаемых в исследуемом регионе.

## РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ В ЗОНЕ ОКИСЛЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНОЕ (ЭЛЬКОНСКИЙ УРР, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

В. А. Прозоров<sup>1,2</sup>, К. А. Полбина<sup>1</sup>, Н. А. Гребенкин<sup>1</sup>,  
И. А. Мишин<sup>1</sup>, Е. Н. Карманов<sup>1</sup>, А. М. Чепчугов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья  
им. Н. М. Федеровского, Москва,

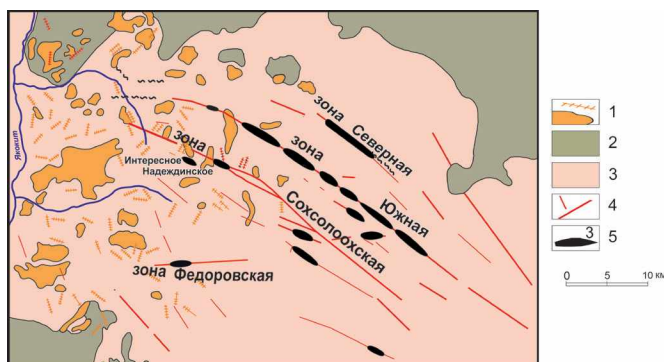
<sup>2</sup>Российский государственный геологоразведочный университет  
им. Серго Орджоникидзе, Москва, viktor.prozorow2016@yandex.ru

Одним из крупнейших урановорудных районов (УРР) мира и России в частности, но фактически не осваиваемых в настоящее время, является Эльконский УРР. Он находится на юге Республики Саха (Якутия) в пределах Центрально-Алданского горнопромышленного района.

В геотектоническом отношении район располагается в пределах Алданского щита, занимая территорию Эльконского горста. В геологическом строении района выделяют два структурных этажа. Породы нижнего структурного этажа слагают фундамент территории и представлены глубоко метаморфизованными, сильно дислоцированными архейскими кристаллическими сланцами и гнейсами, а также ультраметаморфическими и магматическими образованиями раннепротерозойского возраста. Верхний структурный этаж представлен рифейско-раннекембрийскими терригенно-карбонатными отложениями плитного комплекса. С мезозойской тектоно-магматической активизацией связано образование щелочных и субщелочных магматических тел (рис. 1).

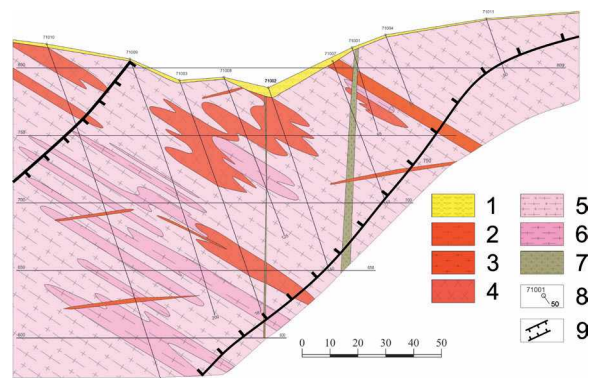
В минерагеническом отношении Эльконский УРР представляет собой серию субпараллельных протяженных зон древнего заложения: Северная, Южная, Сохсолоохская и Федоровская, в пределах которых локализованы многочисленные золото-урановые месторождения.

В настоящее время АО «ЭГМК» осуществляются работы по добыче золота из зоны окисления месторождения Северное. Уран из комплексных руд здесь не извлекается, т. к. его содержание в зоне окисления составляет сотые доли процента. Однако руды с таким невысоким содержанием урана могут перерабатываться методом кучного выщелачивания, но только в том случае, если они представлены геотехнологически неупорными минералами. Несмотря на длительное изучение месторождений Эльконского УРР, исследование зоны окисления проводилось весьма ограниченно, т. к. такие бедные руды не рассматривались в качестве потенциального источника урана.



**Рис. 1. Схематическая геологическая карта  
Эльконского УРР**

1 – щелочные и субщелочные интрузии (J-K); 2 – платформенные отложения (Rf-C<sub>1</sub>); 3 – гранитно-метаморфические образования фундамента (AR-PR<sub>1</sub>); 4 – древние тектонические зоны; 5 – золото-урановые месторождения



**Рис. 2. Геологический разрез  
по разведочной линии 71**

1 – четвертичные образования, 2 – лейкограниты, 3 – аляскиты, 4 – гранитогнейсы, 5 – гранитизированные сланцы, 6 – кристаллические сланцы, 7 – ортогнейсы, 8 – скважины, их номер и глубина, 9 – границы тектоно-метасоматической зоны

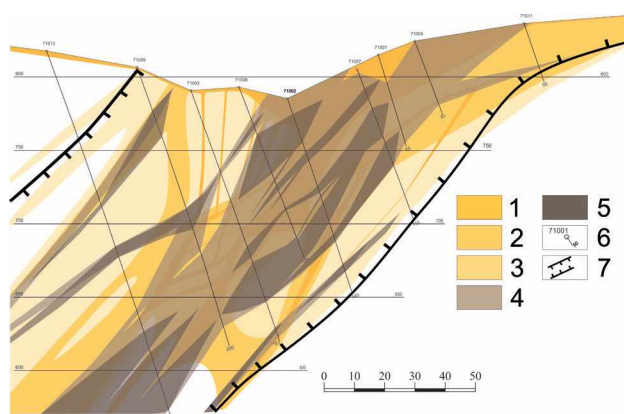
В полевой сезон 2024 г. по трем буровым профилям месторождения Северное была проведена специализированная документация керн разведочных скважин. Она включала: картирование гидротермально-метасоматических и гипергенных изменений с выделением минеральных ассоциаций и уранового оруденения с применением радиометрического оборудования, ультрафиолетовой лампы и портативного рентгенофлуоресцентного анализатора; фотодокументацию керн; отбор штучных (точечных) и малых минералого-технологических проб; построение геологических колонок и разрезов с выделением на них минеральных ассоциаций, в том числе с указанием интенсивности их развития.

На примере бурового профиля 71 были установлены следующие геологические особенности:

– в геологическом строении принимают участие кристаллосланцы, гранитизированные сланцы, гранитогнейсы, лейкократовые граниты, аляскиты и ортогнейсы (рис. 2). Генеральная сланцеватость пород – около  $35^\circ$ . Мощность тектоно-метасоматической зоны достигает 200 м и более. В ней проявлены последовательные, различные по составу мезозойские рудно-метасоматические и современные гипергенные образования. К первым относятся (от ранних к поздним): предрудные золотоносные пирит-карбонат-калишпатовые и барит-кварцевые метасоматиты; далее урановая минерализация, представленная палевыми брекчиями (разложившимся браннеритом); пострудные кварц-карбонат-флюоритовые образования в виде прожилков. Процессы гипергенеза выражены проявлением вторичной урановой минерализации, разрушением сульфидов с появлением гидратов оксида железа (III), выщелачиванием карбонатов, а также образованием свободного золота, первоначально сконцентрированного в пирите.

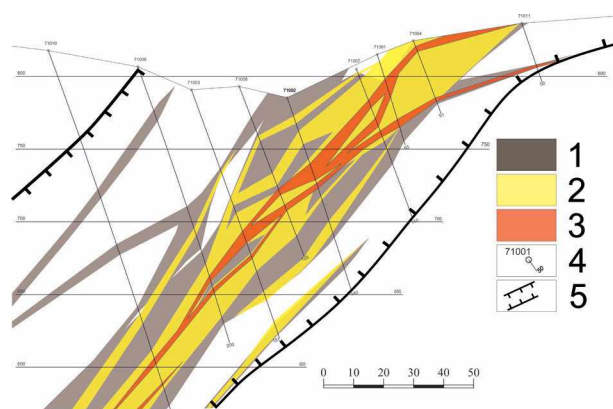
Гипергенные процессы наиболее отчетливо выражены в виде лимонитизации, которая является индикатором картирования зоны окисления. Окисление преимущественно имеет линейное развитие вдоль основной тектоно-метасоматической зоны. Максимально лимонитизация проявлена в ее центральной части и вблизи дневной поверхности. Интенсивность лимонитизации снижается с глубиной и к периферии основной зоны. Иногда отмечаются субвертикальные трещины мощностью первые метры, выполненные гидратами оксида железа (III).

Предрудная калишпатизация слагает ветвящиеся зоны мощностью от 5 до 100 м (рис. 3). Внутри них отмечаются более локальные зоны пирит-карбонатных изменений (от первых метров до 30 м), которые ближе к дневной поверхности, в зоне наиболее интенсивного окисления, не сохраняются.



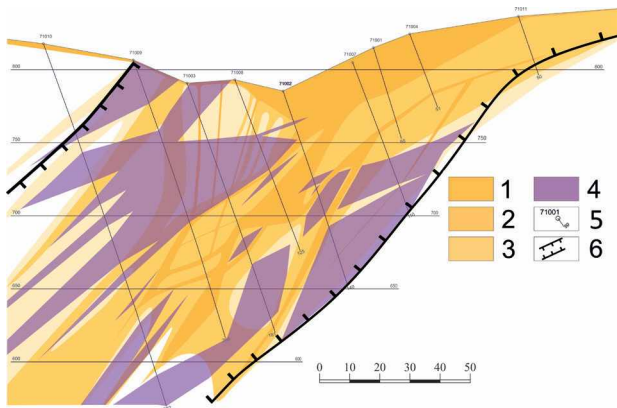
**Рис. 3. Положение пирит-карбонат-калишпатовых метасоматитов в зоне окисления в разрезе по разведочной линии 71**

1–3 – степень окисления: 1 – высокая, 2 – средняя, 3 – слабая; 4 – калишпатовые метасоматиты; 5 – пирит-карбонатные метасоматиты; 6 – скважины, их номер и глубина; 7 – границы тектоно-метасоматической зоны



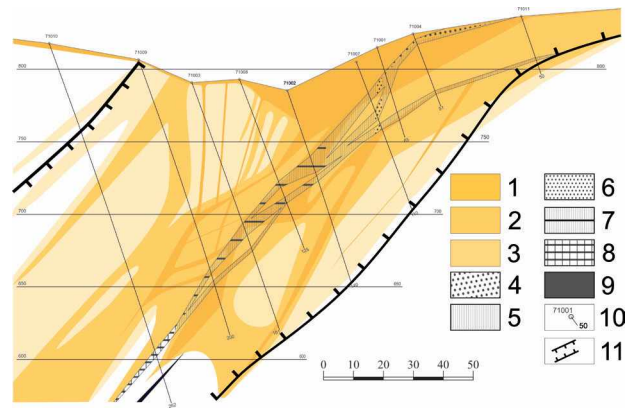
**Рис. 4. Положение пирит-карбонат-калишпатовых метасоматитов, золотого и уранового оруденения в зоне окисления в разрезе по разведочной линии 71**

1 – калишпатовые метасоматиты; 2 – золоторудные тела (0,4 г/т); 3 – урановорудные тела; 4 – скважины, их номер и глубина; 5 – границы тектоно-метасоматической зоны



**Рис. 5. Положение кварц-флюорит-карбонатных прожилков в зоне окисления в разрезе по разведочной линии 71**

1–3 – степень окисления: 1 – высокая; 2 – средняя; 3 – слабая; 4 – кварц-флюорит-карбонатные образования; 5 – скважины, их номер и глубина; 6 – границы тектоно-метасоматической зоны



**Рис. 6. Вертикальная минералогическая зональность уранового оруденения в зоне окисления, показанная в разрезе по разведочной линии 71**

1–3 – степень окисления: 1 – высокая; 2 – средняя; 3 – слабая; 4 – сорбция урана на гидратах оксида железа (III); 5 – вторично-урановая минерализация; 6 – сорбция на минералах титана (?); 7 – вторично-урановая минерализация с реликтами разложенного браннерита; 8 – разложенный браннерит с вторично-урановой минерализацией; 9 – разложенный браннерит; 10 – скважины, их номер и глубина; 11 – границы тектоно-метасоматической зоны

Калишпатовые метасоматиты контролируют золотое оруденение (рис. 4). Мощность золоторудных тел с содержаниями более 0,4 г/т колеблется от первых метров до 50 м. По результатам лабораторных исследований, представленных в отчете АО «ЭГМК», параметры извлечения золота здесь весьма высокие. Эти участки отвечают преимущественно зонам максимального окисления. Таким образом, визуальное картирование интенсивности развития лимонитизации позволяет до проведения лабораторных исследований прогнозировать степень извлечения золота. Как правило, осевые части золотоносных зон занимают урановорудные тела, мощность которых существенно меньше.

Пострудное кварц-карбонат-флюоритовое прожилкование проявлено весьма широко, в том числе и за пределами зон калишпатизации (рис. 5). В максимально окисленных частях эти образования фиксируются фрагментарно.

Урановорудные тела характеризуются глубинной минералогической зональностью. Так, в вертикальном разрезе от дневной поверхности до глубины 200 м выделены: минералы, представленные гидратами оксида железа (III) с повышенным содержанием урана; вторичные минералы урана типа отенита и др.; вторичные минералы урана с реликтами разложенного браннерита; разложенный браннерит с малым количеством вторичных урановых минералов; массивный разложенный браннерит (рис. 6).

Учитывая гетерогенный вещественный состав рудно-метасоматических образований, на следующем этапе работ запланировано проведение прецизионных минералого-аналитических исследований и геотехнологических испытаний на отобранном материале.

В ближайшей перспективе АО «ЭГМК» планирует приступить к освоению месторождений зоны Южная. Первоочередным объектом ГРП будет являться зона окисления, точнее участки со свободным золотом и вторичной урановой минерализацией. Учитывая опыт и результаты полевых работ 2024 г., такие места можно оперативно выделять в процессе специализированного картирования.

# РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ И ПРОГНОЗ РУДОГЕНЕЗА РУДНОГО АЛТАЯ ПО ДАННЫМ ГЛУБИННОГО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

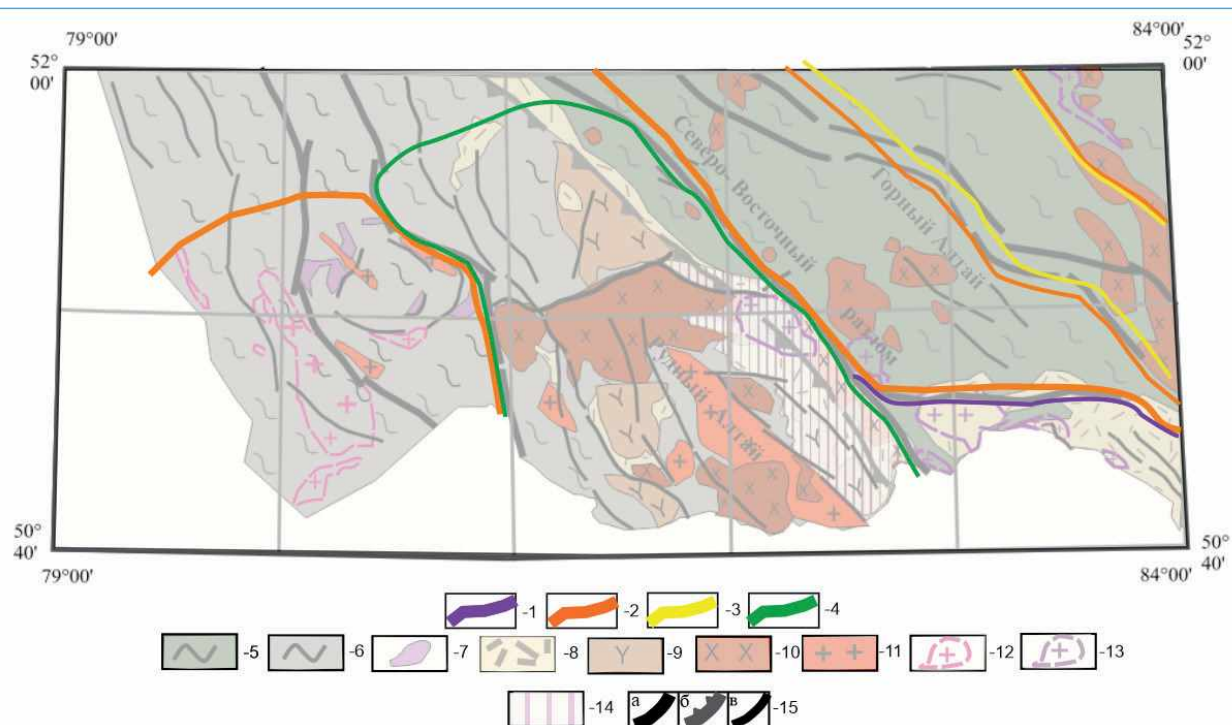
Д. Д. Секерина, А. С. Егоров

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, sekerinadar@mail.ru

Рудный Алтай является одним из крупнейших промышленных регионов, перспективным на поиски скрытого и слабо проявленного на поверхности колчеданно-полиметаллического оруденения (рис. 1). Считается, что оруденение приурочено к девонским вулканогенно-осадочным комплексам, а рудное вещество локализуется в ходе гидротермально-рециклинговой системы. Исходя из этого, поставлена задача обоснования геодинамической модели формирования рудоносных структур Рудного Алтая [1].

В рамках поставленной задачи сформирован рабочий банк данных, включающий цифровые модели геологических и геофизических карт и глубинных разрезов, в том числе гравитационного и магнитного полей масштаба 1 : 1 000 000 [4; 5].

На стадии интерпретации проведена переобработка потенциальных полей, включающая подавление шумовых эффектов и улучшение качества исходного сигнала [1; 2]. Кроме того, выполнен расчет разночастотных составляющих полей, пресчет магнитного поля в псевдогравитационное поле (рис. 2) и др. [3; 4].



**Рис. 1. Положение Рудного Алтая в пределах зон минерагенической специализации**

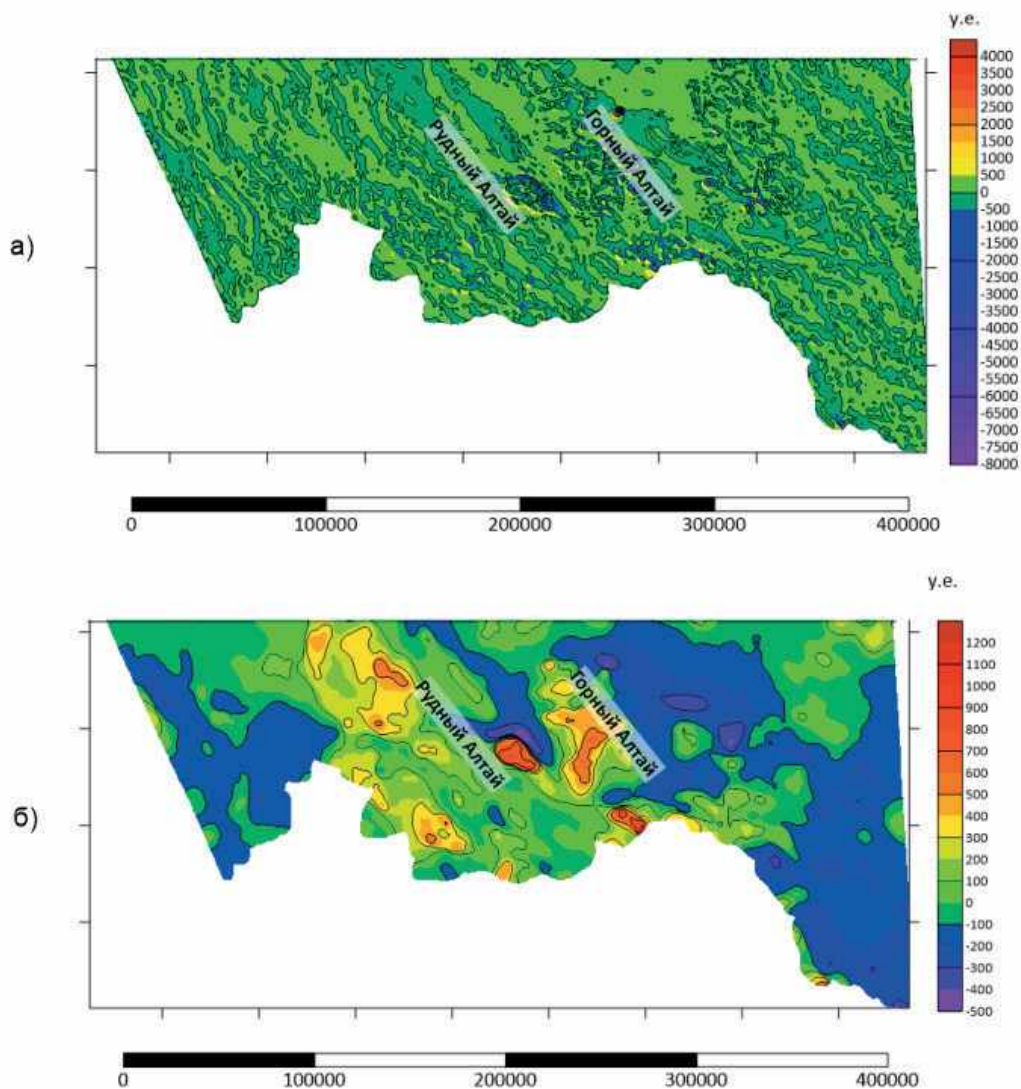
1–4 – ареалы рудопоявлений: 1 – черных металлов, 2 – благородных металлов, 3 – легирующих металлов, 4 – цветных металлов; 5–15 – структурно-вещественные подразделения: 5 – каледонские (PZ<sub>1-2</sub>) орогенные структуры, 6 – ареалы проявления герцинского орогенеза (PZ<sub>2-3</sub>), 7 – офиолиты (D<sub>1</sub>), 8–10 – комплексы активной континентальной окраины: 8 – тыловодужного рифтогенеза (бимодальная базальт-дацит-риолитовая формация (D<sub>1-2</sub>), 9, 10 – вулканоплутонических поясов (9 – базальт-дацит риолитовая формация (D<sub>2-3</sub>), 10 – габбро-гранодиорит-гранитовая формация (D<sub>3</sub>), 11 – коллизионная габбро-гранодиорит-гранитовая формация (C<sub>1</sub>), 12, 13 – коллизионные и постколлизионные (12 – гранитовая формация (P<sub>1</sub>), 13 – плюмазит-гранитовая формация (T<sub>1</sub>), 14, 15 – прочие обозначения: 14 – конур Змеиногорско-Быструшинского прогиба, 15 – разрывные нарушения (а – главные разрывные нарушения, б – фронтальная зона проявления герцинского складчато-надвигового пояса, в – второстепенные разрывные нарушения) (составлено авторами на основе геологических карт [1])

Трансформанты гравитационного и магнитного полей использованы для картирования основных структур земной коры: блоков и межблоковых сутурных зон, рифтогенных структур, разрывных нарушений разных морфокинематических типов [5; 6].

В сечении глубинного сейсмического разреза по линии профиля «Базальт» (ГСЗ-МОВЗ) [5], рассчитан разрез в показателях «рефлективности», что позволило более уверенно закартировать границы блоков и основные разрывные нарушения, проявленные на поверхности по данным геологического картирования [1]. На основе интерпретации комплекса геолого-геофизических данных построены разрезы, характеризующие развитие Рудного Алтая на разных этапах эволюции [2; 7].

Геотектоническое районирование региона позволило отобразить контуры рудоперспективных объектов, сформированных на разных стадиях развития региона. Выявлено, что Рудный Алтай формировался в ходе каледонского и герцинского орогенных циклов [7]. Каледонский орогенез в пределах исследуемой площади проявлен заложением древних вулканических комплексов активной континентальной окраины и шельфовых карбонатно-терригенных отложений.

Герцинский орогенез характеризуется активным развитием тылового рифтогенеза активной континентальной окраины, который осложнил ранее сформированные вулканогенно-осадочные комплексы [8], к которым приурочены колчеданно-полиметаллические оруденения рудноалтайской минерагенической зоны [4; 6].



**Рис. 2. Пример расчета трансформант для магнитного поля по площади Рудного и Горного Алтая:**  
а – горизонтальный градиент, б – низкочастотная составляющая магнитного поля [составлено авторами]

Позднегерцинский орогенез, обусловленный столкновением Казахстанского и Сибирского палеоконтинентов, отчетливо проявлен в виде складчато-надвиговых деформаций Рудного Алтая. Этот процесс привел к выдвиганию на поверхность более древних осадочных комплексов [2].

Историко-эволюционное моделирование структур исследуемого региона демонстрирует последовательное развитие разреза земной коры вдоль субширотного сечения в ходе главных этапов герцинского тектоно-магматического цикла [9; 10].

Составленные схемы и глубинные разрезы иллюстрируют закономерности формирования Рудного Алтая на стадии активной континентальной окраины, осложненной рифтогенезом, и коллизионного орогенеза, обусловленного столкновением Казахстанского и Сибирского палеоконтинентов.

При рассмотрении данных моделей можно сделать следующие выводы:

– в потенциальных полях отчетливо проявлена граница каледонской и герцинской структур на региональном масштабе, по результатам качественной и количественной интерпретации (см. рис. 1);

– характер проявления особых точек гравитационного и магнитного полей Рудного Алтая и Горного Алтая, с нашей точки зрения, подчеркивает наиболее высокий уровень денудации рудноалтайского блока [4];

– анализируя особенности локализации колчеданно-полиметаллического оруденения в пределах региональных орогенных структур, стоит отметить тесную связь рудогенеза с формированием девонских вулканических трогов базальт-риолитовой формации и сложное проявление разновозрастных орогенных процессов в пределах исследуемой территории, которые являются рудоконтролирующими структурами промышленного колчеданно-полиметаллического оруденения Рудного Алтая.

Таким образом, в результате комплексной интерпретации набора геолого-геофизических данных, удается выявить основные закономерности локализации колчеданно-полиметаллического оруденения в пределах Рудного Алтая. К основным факторам, осложняющим процессы рудоформирования, следует отнести влияние рифтогенных событий и развитие складчато-надвиговых деформаций, вызванных столкновением Казахстанского и Сибирского палеоконтинентов.

## Литература

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-44 – Рубцовск. Объяснительная записка / Н. И. Гусев, Ю. Е. Вовшин, А. А. Круглова, М. Г. Пушкин и др. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. – 415 с.

2. Структура рудного поля и U-Pb датирование вмещающих и околорудных пород Змеиногорского барит-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай) / О. М. Гринев, К. В. Бестемьянова, А. С. Семиряков, Р. О. Гринев // Динамика и взаимодействие геосфер Земли : Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете специалистов в области наук о Земле. В 3-х томах, Томск, 08–12 ноября 2021 г. Том I. – Томск : Томский центр научно-технической информации, 2021. – С. 32–35.

3. Денисова А. А., Мишенин С. Г., Щербатых М. О. Пути повышения эффективности комплексных геофизических исследований глубокозалегающих слабоконтрастных полиметаллических месторождений (на примере месторождения Майское в Змеиногорском рудном районе) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : Сборник тезисов докладов XII Международной научно-практической конференции, Москва, 11–14 апреля 2023 года. – М. : Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, 2023. – С. 124–129.

4. Егоров А. С., Калинин Д. Ф., Секерина Д. Д. Геотектоническая модель глубинного строения Змеиногорского рудного района Рудного Алтая по данным геологической интерпретации комплекса геофизических съемок // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 8. – С. 148–160.

5. Кузнецов В. В., Кузнецова Т. П., Серавина Т. В. Научно-методические основы прогноза и поисков полиметаллических месторождений Алтае-Саянской минерагенической провинции // Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных, цветных металлов и алмазов : Сборник тезисов докладов VII научно-практической конференции, Москва, 13–14 апреля 2017 года. – М. : Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, 2017. – С. 34–35.

6. Секерина Д. Д., Егоров А. С. Особенности глубинного строения, геотектонической позиции и эволюционной истории Змеиногорско-Быструшинского прогиба Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2024. – № 97. – С. 17–26.

7. Секерина Д. Д., Дергилева Е. А., Егоров А. С. Закономерности локализации структур каледонского и герцинского орогенеза Рудного Алтая // Региональная геология и металлогения. – 2023. – № 93. – С. 52–62.

8. Серавина Т. В., Кузнецова С. В., Филатова Л. К. Особенности вещественного состава вмещающих пород и руд Лазурского рудного поля (Змеиногорский рудный район, Рудноалтайская минерагеническая зона) // Отечественная геология. – 2021. – № 3–4. – С. 36–47.

9. Туркин Ю. А. Особенности тектонического строения и геотектоническая позиция Рудного Алтая // Геология, геофизика и минеральные ресурсы. – 2010. – Т. 13. – С. 55–67.

10. Чернышев И. В. Источники металлов колчеданных месторождений Рудного Алтая по данным высокоточного MC-ICP-MS изучения изотопного состава свинца / И. В. Чернышев, И. В. Викентьев, А. В. Чугаев и др. // Геохимия. – 2023. – Т. 68, № 6. – С. 545–569.

## ПРИРОДНАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ ИСКОПАЕМЫХ УГЛЕЙ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А. Ю. Тебаева, Д. А. Ибрагимова, Д. Ю. Пак, Ю. Н. Пак

*НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (КарТУ),  
Караганда, Казахстан, pak\_kargtu@mail.ru*

В настоящее время одним из главных топливных ресурсов тепловых электростанций является уголь. Около 67 % всей электроэнергии Казахстана вырабатывается за счет угольной энергетики. В мире производится около 44 % всей электроэнергии с использованием угля.

Ископаемые угли содержат в основном природные радиоактивные элементы уранового ряда  $U^{238}$ , актиноуранового ряда  $U^{235}$ , ториевого ряда  $Th^{232}$  и продукты их распада, а также радиоактивный нуклид калий-40.

Кларковое содержание урана, по данным Я. Юдовича [1], составляет  $2,7 \pm 0,3$  г/т в бурых углях, в каменных –  $1,9 \pm 0,1$  г/т, кларковое содержание тория в бурых углях –  $3,8 \pm 0,2$  г/т, в каменных –  $3,1 \pm 0,1$  г/т.

Таблица 1

**Радиоактивность естественных радионуклидов в углях месторождений различных стран [2; 7]**

Бассейн	$K^{40}$	$U^{238}$	$Ra^{226}$	$Pb^{210}$	$Th^{232}$
По всем бассейнам мира	$\frac{50}{37 - 440}$	$\frac{20}{15 - 250}$	$\frac{20}{1,5 - 100}$	$\frac{20}{10 - 50}$	$\frac{20}{< 7 - 110}$
Страны бывшего СССР	120	28	–	–	25
США	$\frac{52}{1 - 710}$	$\frac{18}{1 - 540}$	22	–	$\frac{21}{2 - 320}$
Австралия	–	–	30–48	–	–
Китай	30	7	–	–	16
Германия	–	–	26	–	–
Польша	–	–	2–35	–	–
Великобритания	$\frac{166}{55 - 314}$	$\frac{14,2}{7,8 - 30}$	$\frac{14,9}{8,9 - 25,5}$	–	$\frac{12,6}{7 - 19,2}$
Чехословакия			4–13		
Восточный Донбасс, антрацитовый штыб	300	76	34		21
Читинская область, Уртуйское месторождение, бурые угли	2,5–780	100–12 300			24–800



В табл. приведены данные о естественной радиоактивности углей месторождений различных стран [2; 7].

Распределение радионуклидов весьма неравномерное. Удельные активности ЕРН в углях различных месторождений различаются в 100 раз и более. Аномальные содержания урана в основном имеют эпигенетическую природу и связаны с поступлением в угольный пласт кислородоносных вод. В этих условиях формируются обогащенные ураном кислородные воды, благоприятствующие накоплению аномальных концентраций урана в органическом веществе. Изучение форм нахождения химических элементов в углях имеет большое значение для определения условий углеобразования, разработки моделей поведения элементов при сжигании на тепловых электростанциях и для создания технологий комплексной переработки углей и золошлаковых отходов [3].

Результаты исследований по изучению распределения урана и тория в углях показывают, что эти элементы могут находиться как в органической, так и минеральной составляющих. Как правило, при концентрациях, близких или больших их кларковым содержаниям растет вероятность их нахождения в органическом веществе. Для углей с содержаниями U и Th, существенно меньших их кларков преобладает неорганическая составляющая. Однозначного ответа о форме нахождения урана и тория в ископаемых углях еще нет в силу чрезвычайной сложности и многофакторности распределения этих радионуклидов в составляющих углей.

Мировой опыт показывает, что угольная энергетика в основном ориентируется на использование углей с низким содержанием радиоактивных элементов. Однако в процессе сжигания слаборадиоактивных углей происходит концентрирование радионуклидов (уран, торий и калий-40) в золошлаковых отходах. Это обостряет экологические проблемы, одной из которых является радиоактивное загрязнение, создаваемое предприятиями угольной энергетике.

Таблица 2

**Содержание урана и тория в углях и золе углей [3]**

Угольный бассейн, месторождение	Число проб	A <sup>d</sup> , %	Содержание элементов, г/т				Th / U
			Уголь		Зола		
			U	Th	U	Th	
<b>Казахстан</b>							
<i>Угли карбонового возраста</i>							
Карагандинский	3	9,8	0,6 ± 0,1	1,1 ± 0,3	6,1	11,2	1,8
Экибастуз	41	36,1	1,1 ± 0,1	3,1 ± 0,3	3,0	8,6	2,8
<i>Угли юрского возраста</i>							
Каражыра	7	11,7	0,5 ± 0,2	1,0 ± 0,2	4,3	8,5	2,0
Майкубенский	10	25,5	5,0 ± 2,2	3,6 ± 0,7	19,6	14,1	0,7
Среднее для Казахстана	61	20,8	1,8 ± 1,1	2,2 ± 0,7	8,7	10,6	1,2
<b>Монголия</b>							
<i>Угли карбонового возраста</i>							
Нурс-Хотгор	95	18,2	2,3 ± 0,7	5,0 ± 0,5	12,6	27,5	2,2
Хаар-Тарвагатай	10	18,7	1,0 ± 0,1	2,7 ± 0,3	6,0	14,3	2,6
Хундлун	7	9,4	1,0 ± 0,1	2,6 ± 0,5	10,6	27,7	2,6
Зээгт	10	12,5	1,3 ± 0,4	2,1 ± 0,3	10,4	16,8	1,6
Среднее	122	14,7	1,4 ± 0,3	3,1 ± 0,6	9,5	21,1	2,2
<i>Угли юрского возраста</i>							
Сайхан-Ово	6	9,7	3,7 ± 1,3	2,2 ± 0,4	38,1	22,7	0,6
Могойн-Гол	15	20,8	21,8 ± 4,0	5,9 ± 1,7	105	28,4	0,3
Баянтэг	8	14,8	9,1 ± 3,6	7,2 ± 0,9	61,5	48,6	0,8
Шарынгол	29	12,2	2,1 ± 0,2	5,2 ± 0,4	17,2	42,6	2,5
Среднее	58	14,4	5,0 ± 2,1	5,1 ± 1,1	34,6	35,7	1,0
Среднее для Монголии	310	16,3	2,7 ± 0,5	3,6 ± 0,5	16,7	22,1	1,3

Казахстан является одним из крупных производителей твердого топлива на мировом рынке. Занимает третье место среди стран СНГ. В целом казахстанские угли считаются слаборадиоактивными. Содержание урана колеблется в диапазоне 0,6–5,0 г/т, а тория 1,1–3,6 г/т (табл. 2).

Даже угли одного возраста отличаются по радиогеохимическим характеристикам. В ряде углей (отдельные пласты, участки) месторождений Майкубинское и Шубаркольское выявлены повышенные содержания естественных радионуклидов. В выветрелых углях Шубаркольского месторождения концентрация урана превышает 1000 г/т [4].

Проблема распределения природных радионуклидов (уран, торий и калий-40) в ископаемых углях Казахстана изучена сравнительно слабо. Удельная активность углей оценивалась по небольшому количеству проб.

Более представительная информация о естественной радиоактивности углей получена путем анализа Экибастузских углей, зольность которых менялась в интервале 32,8–39,8 %. Анализ на содержание радионуклидов осуществлялся гамма-спектрометрическим способом (25 проб) с полупроводниковым детектором и нейтронно-активационным методом (11 проб). По данным гамма-спектрометрии концентрация урана (радия) варьирует в пределах 1,0–2,2 г/т; тория – 3,0–4,8 г/т; калия-40 – 0,09–0,26 %.

По данным нейтронно-активационного способа, пределы изменения  $U^{238}$  – 0,5–1,5 г/т;  $Th^{232}$  – 2,1–3,1 г/т;  $K^{40}$  – 0,03–0,28 %. Этим же способом получены данные о концентрации 24 элементов (токсичные, редкие, редкоземельные).

Сделаны предварительные выводы о том, что Экибастузские угли можно отнести к классу слаборадиоактивных. Промышленную значимость Экибастузских углей можно связать с относительно высокими концентрациями ряда редкоземельных элементов [8]. Отходы добычи и переработки могут использоваться при строительстве дорог, рекультивации земель, при производстве цемента.

Надежная информация о природной радиоактивности углей и концентрациях радионуклидов урана и тория и продуктов их распада может служить основой для создания технологии опробования углей в больших массах, прогнозной оценки наличия редкоземельных элементов и изотопного датирования различных минералов.

Важным моментом является то, что топливо сжигается, как правило, без радиационно-гигиенического контроля. Летучая зола и твердые зольные отходы, обогащенные радионуклидами, загрязняют окружающую среду. При этом золошлаковые отвалы, занимающие огромные территории, постепенно превращаются в квазитехногенные месторождения радионуклидов.

Из табл. 2 следует, что коэффициент концентрирования (отношение концентраций радионуклида в золе и угле) урана и тория для казахстанских углей в среднем составляет 4,8. Для углей Монголии коэффициент выше (~6,2).

В дальневосточных углях, сжигаемых на ТЭС, коэффициент концентрирования радионуклидов в золошлаковых отходах составляет для  $K^{40}$  около 6,  $U$  (Ra) – 4,  $Th^{232}$  – 3 [5].

Источником радиационного загрязнения окружающей среды является также и тонкодисперсная летучая зола, практически не улавливаемая электрофильтрами ТЭС. Содержание урана и тория в летучей золе обычно увеличивается в 3–4 раза по отношению к исходному углю [6]. Все это представляет потенциальную опасность для окружающей среды.

Наличие в углях природных радионуклидов, их концентрирование в твердой золе и летучей золе предполагают организацию системы радиоэкологического контроля на всех этапах разведки, добычи и переработки. В районах дислокации угольных предприятий энергетики необходим системный мониторинг за уровнем радиоактивности в сжигаемых углях, золошлаковых отходах и летучей золе. Для минимизации радиационных выбросов необходимо использовать обогащенные угли с зольностью ниже 10–12 %.

*Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23485184).*

## Литература

1. Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Мерц А. В. Элементы-примеси в ископаемых углях. – Л. : Наука, 1985. – 239 с.
2. Шпирт М. Я., Раиевский В. В. Формы соединений и поведение микроэлементов в процессах переработки горючих ископаемых. – М. : Кучково поле, 2010. – 384 с.
3. Арбузов С. И., Волостнов А. В., Машенькин В. С. и др. Радиоактивные элементы (U, Th) в углях. Материалы IV Международной конференции, г. Томск, 2013.
4. Амангельдыкызы А. Исследование распространенности редкоземельных металлов в углях главных угольных бассейнов Центрального Казахстана // Диссертация докт. РНД. – Караганда, 2021.
5. Крупская Л. Т., Матвиенко Т. И., Самагин В. Д. Содержание естественных радионуклидов в дальневосточных углях и ЗШО ТЭС // Известия вузов. Горный журнал. – 2007. – № 1.
6. Овсейчук В. А., Крылов Д. А., Сидорова Г. П. Радиоактивность углей и продуктов их сжигания // Атомная стратегия. – 2013. – № 3.
7. Bouska V. // Int. J. Coal Ged. – 1999. – Vol. 40, no. 2–3.
8. Pak Yu. N., Pak D. Iu., Nuguzhinov Zh. S. et al. Natural radioactivity of coal in the context of radioecological safety and rational use // Известия вузов. Сер. Горный журнал. – 2021. – № 1. – С. 97–106.

### ЗОЛОТОРУДНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ХАТУНОЯ: ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ И СПЕЦИФИКА СВЯЗЕЙ ГИДРОТЕРМАЛИТОВ И ОРУДЕНЕНИЯ

И. В. Трифонов, А. С. Кожемонян, Е. А. Прохоров,  
С. П. Цыханвей, Л. А. Каримов, М. В. Кондратьев

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, i.v.trifonof@gmail.ru

На данный момент в Карелии нет промышленных золоторудных месторождений, однако в регионе известно достаточно большое количество малых и средних рудопроявлений. Несмотря на масштабность проведённых поисковых и разведочных работ на потенциально золоторудных и комплексных золотосодержащих месторождениях в прошлом веке, некоторые из них до сих пор остаются интересными и требуют дальнейшего изучения.

Одним из таких является рудопроявление Хатуноя, расположенное в Суоярвинском муниципальном округе Сортавальского района.

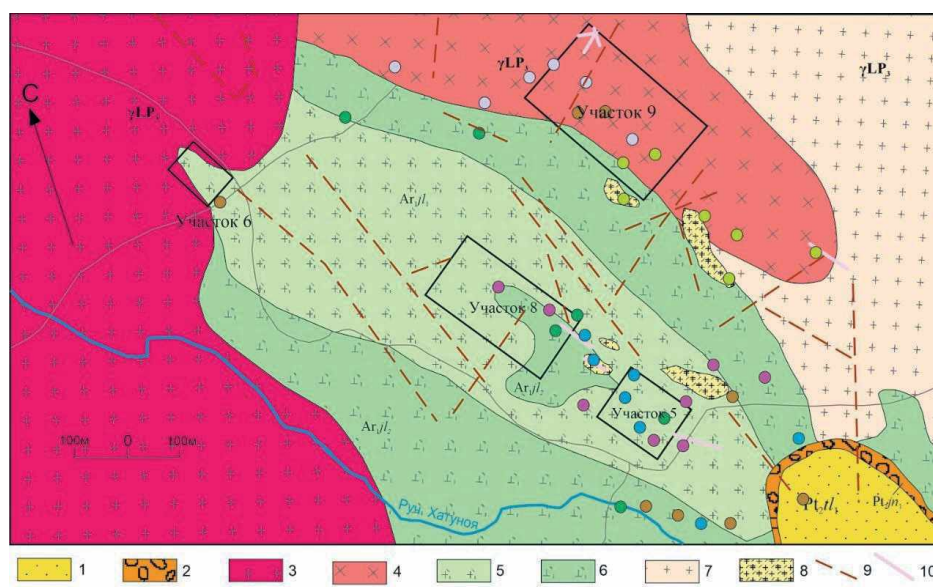


Рис. 1. Карта геологического строения уч. Хатуноя

1 – кварцито-песчаники; 2 – Конгломераты; 3 – граниты; 4 – диориты; 5 – метапорфириды; 6 – метадолериты; 7 – гранитоиды архейского фундамента; 8 – риодациты; 9 – разрывные нарушения; 10 – дайки гранит-порфиоров.

Площадь Хатуноя в течение прошлого века неоднократно затрагивалась в ходе работ различной стадийности, специализированные работы на золото проводились на участке коллективом Карельского научного центра В. И. Иващенко, О. Б. Лавровым и др. в 2004 г., по итогам которых рудопроявление было сочтено перспективным для дальнейшей разведки и исследований. В работах предшественников не в полной мере была отражена последовательность минералообразования для всех типов руд изучаемой площади, недостаточно также была охарактеризована связь метасоматитов и оруденения. Специфика таких связей во многом может являться критерием для оценки перспективных площадей и более корректного выделения объектов-аналогов на поисково-оценочных этапах [4]. Целью данной работы является восполнить этот пробел.

В геологическом отношении Хатуноя относится к Ялонварской структуре архейского зеленокаменного пояса Ялонвара-Иломантси, который простирается на территорию Финляндии и в котором известны золоторудные месторождения Rampalo, Valkeasuo, Kuittila и др. [6].

В геологическом отношении площадь сложена архейскими метавулканитами ялонварской свиты, прорванными многофазным Ялонварским интрузивом. Породы перекрываются протерозойскими конгломератами ятулийской свиты (рис. 1).

Метавулканиты представлены агломератовыми туфами, лавами андезитового, дацитового составов. В нижней части ялонварской свиты преобладают андезиты, андезибазальты и их туфы. Разрез верхней части толщи представлен вулканидами более кислого состава. Последние зачастую превращены в кварц-плагиоклаз-серицитовые сланцы.

Ялонварский массив был сформирован в три фазы: I – диориты, гранодиориты, II – граниты, III – лейкократовые порфиroidные граниты, гранит-порфиры, субвулканические дациты, риодациты.

Вся площадь Хатуноя разбита многочисленными разрывными нарушениями разной ориентировки. По данным В. И. Иващенко и др. [2], дислокации являются сдвигами.

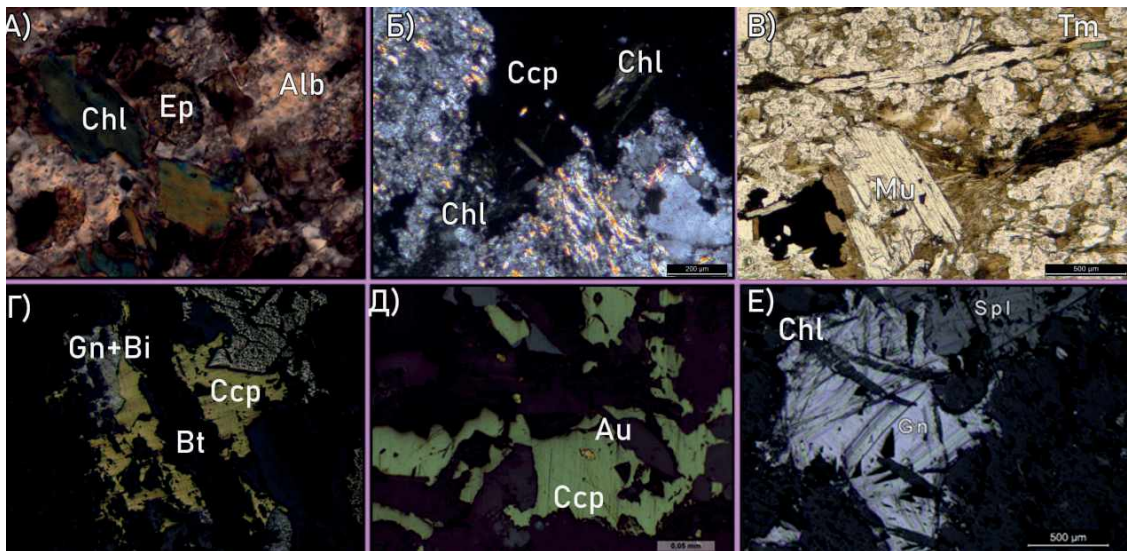
Основные метасоматические изменения участка представлены серицитизацией, биотитизацией, окварцеванием. С выявленной рудной минерализацией различных типов получили широкое распространение биотит-кварцевые прожилки с альбитом, K-Na полевым шпатом, карбонатом. По соотношениям с другими минералами, можно предположить, что такие прожилки имеют две генерации. В первом случае, биотит, зачастую замещенный хлоритом (рис. 2, Б), который, предположительно, образует синрудные и дорудные минеральные образования, образующая «агрегаты вставания» в зерна сфалерита, халькопирита и галенита (рис. 2, Б, Д). Жилы второй генерации имеют к ним секущее отношение (рис. 2, Г).

В составе биотитовых прожилков в точке ТН-2 зачастую также отмечают турмалин с мусковитом, образовавшийся по биотитовым прожилкам в более поздний этап путем их замещения (рис. 2, В).

В ходе исследования препаратов также было выявлено несколько минеральных ассоциаций, отвечающих процессам пропилитизации: Ep-Chl, Ep-Act, Ep-Alb-Carb. Пропилиты выявлены на участках детализации № 9, № 5, № 8, развитие которых относится к поздним этапам

Слева – матрица корреляции для руд участков 5 и 8, справа – для руд уч. 9

Au	Ag	Bi	Pb	Mo	Cu	Zn		Au	Ag	Bi	Pb	Mo	Cu	Zn
1							Au	1						
0,433	1						Ag	0,693	1					
0,065	0,151	1					Bi	0,515	0,810	1				
0,009	0,107	0,819	1				Pb	0,060	0,123	0,122	1			
0,134	0,075	0,264	0,101	1			Mo	0,028	0,133	0,156	0,001	1		
0,002	0,803	0,059	-0,01	0,027	1		Cu	0,010	0,061	0,038	0,710	0,076	1	
0,146	0,502	0,324	0,452	0,092	0,478	1	Zn	-0,04	-0,05	-0,02	0,396	-0,05	0,364	1



**Рис. 2** А. пропилитизация по брекчированному прожилку биотита, Б. агрегаты хлорита в халькопирите, В. развитие мусковита и турмалина по биотитовому прожилку, Г. биотитовый прожилок с самородным висмутом, секущий минералы полиметаллической ассоциации, Д. Самородное золото в халькопирите, Е. «Вростки» хлорита в сфалерите и галените.

становления Ялонварского комплекса, о чем свидетельствует частичное замещение биотитовых прожилков минералами данной ассоциации (рис. 2, Б).

Молибден-полиметаллическая минеральная ассоциация наблюдалась на участках 9, 8, 5. Все эти участки находятся вблизи контактов даек гранит-порфиров и вмещающих их туфов ялонварской свиты. Рудные минералы представлены молибденитом, пиритом, халькопиритом, галенитом, золотом. Наиболее ранним рудным минералом системы является молибденит. Соотношения молибденита с другими рудными минералами в препаратах встречены не были, однако по известным данным о температуре образования этого минерала [1], мы можем предположить, что он образовался на самых первых стадиях развития системы.

На следующей стадии минералообразования осаждались халькопирит, галенит, сфалерит и золото. Данные минералы находятся в характерных сростаниях. Золото находится во включениях в халькопирите или силикатах, ассоциирующих с рудными минералами в прожилках (рис. 2, Д).

Мезотермальная золото-висмутовая минеральная ассоциация интенсивно проявлена на уч. 9. и локально на участках 5 и 8. Минерализация представлена самородным висмутом и золотом. Рудные минералы приурочены к биотитовым прожилкам. Эти образования имеют секущий характер по отношению к минералам полиметаллической ассоциации. Самородный висмут, судя по всему, получает развитие по галениту (рис. 2, Г).

Используя данные по аналитике В. И. Иващенко [3], нами были получены матрицы корреляции для разных типов рудной минерализации (таблица).

По результатам корреляционного анализа, мы видим, что для руд молибден-полиметаллической ассоциации значимые коэффициенты имеют серебро с медью и цинком. Высокую корреляцию имеют цинк и свинец, золото и серебро. В рудах золото-висмутовой ассоциации значимую корреляцию проявляют золото, серебро и висмут.

Рудообразование на уч. Хатуноя происходило в несколько этапов. Первый этап рудообразования связан со становлением Ялонварского гранитоидного интрузива и его субвулканической фазы. На гидротермальном этапе, в первую очередь, образовывалась высокотемпературная молибден-пиритовая ассоциация. Также внедрение интрузии способствовало широкому развитию трещин во вмещающих вулканогенно-осадочных породах, которые при понижении температуры растворов заполнялись биотитом и кварцем. Вместе с этим, или чуть позднее, в этих же зонах отлагались халькопирит, галенит, сфалерит, золото первой генерации,

наиболее полно проявленная на участках детализации 5 и 8. На заключающих этапах проявились метасоматические процессы, отвечающие пропилитизации, замещая биотитовые прожилки и изменяя породы вплоть до полнопроявленных метасоматитов.

В дальнейшем площадь работ была разбита тектоникой сдвигового характера, с которой связана золото-висмутовая минеральная ассоциация, интенсивно проявленная на уч. 9. Она локализуется в поздних кварц-биотит-карбонатных прожилках. Данные образования, по-видимому, не связаны со становлением Ялонварского интрузива и имеют поздний генезис.

Выделения нами второй генерации золота на площади объясняется высокой корреляцией золота с висмутом в рудах уч. 9, где также отмечается полиметаллическая ассоциация, являющаяся золотоносной на участках 5 и 8.

Подобная схема становления рудообразования отмечается в золоторудном месторождении Пампало [4]. Турмалинизация, биотитизация и формирование полиметаллических руд на этом объекте вызваны становлением тоналитовой интрузии в архее; биотитовые прожилки, несущие золото-висмутовую минерализацию, образованы на поздних этапах в постколлизийный этап развития геологических структур.

### Литература

1. Бетехтин А. Г. Курс в Минералогии Изд. 1. – М. : Государственное издательство геологической литературы, 1951. – 541 с.
2. Иващенко В. И., Лавров О. Б., Кондрашова Н. И. и др. «Комплексное благороднометалльное оруденение участка Хатуноя архейского зеленокаменного пояса Ялонвара-Иломантси» // Геология и полезные ископаемые Карелии. – 2007. – Вып.10. – С. 91–116.
3. Иващенко В. И. Отчёт «Геолого-экономическое обоснование постановки оценочных работ на золото в пределах участка Хатуноя в Суоярвинском районе». Петрозаводск, 2004. – 201 с.
4. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований // Тр. ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 354. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. – 560 с.
5. Molnár F., O'Brien H., Lahaye Y. et al. Hironobu Hyodo and Grigorios Sakellaris “Signatures of Multiple Mineralization Processes in the Archean Orogenic Gold Deposit of the Pampalo Mine, Hattu Schist Belt, Eastern Finland” // Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology. – 2016. – Vol. 111. – P. 1659–1703.
6. Maier W. D., Lahtinen R., O'Brien H. Mineral Deposits of Finland // Elsevier, 2015. – 818 p.

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД ПЕЧЕГУБСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

Л. М. Тынысова, О. П. Шиловский

Казанский (Приволжский) Федеральный университет,  
Казань, [tluiza2020@yandex.ru](mailto:tluiza2020@yandex.ru)

Актуальность работы заключается в том, что сегодня запасы железных руд интенсивно сокращаются, важной задачей становится активная открытая разработка малых месторождений, в том числе Печегубское месторождение железных руд.

Целью работы является изучение особенностей парагенезиса основных минералов железистых кварцитов Печегубского месторождения и оценка влияния примесей минералов на качество руды.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи.

1. Отбор образцов керна.
2. Определение минерального состава методом рентгеноструктурного анализа.
3. Петрографическое описание методом оптической микроскопии в поляризационном и отраженном свете.
4. Изучение химического состава образцов методом микро-рентгенофлуоресцентного анализа.
5. Проведение сканирующей электронной микроскопии.

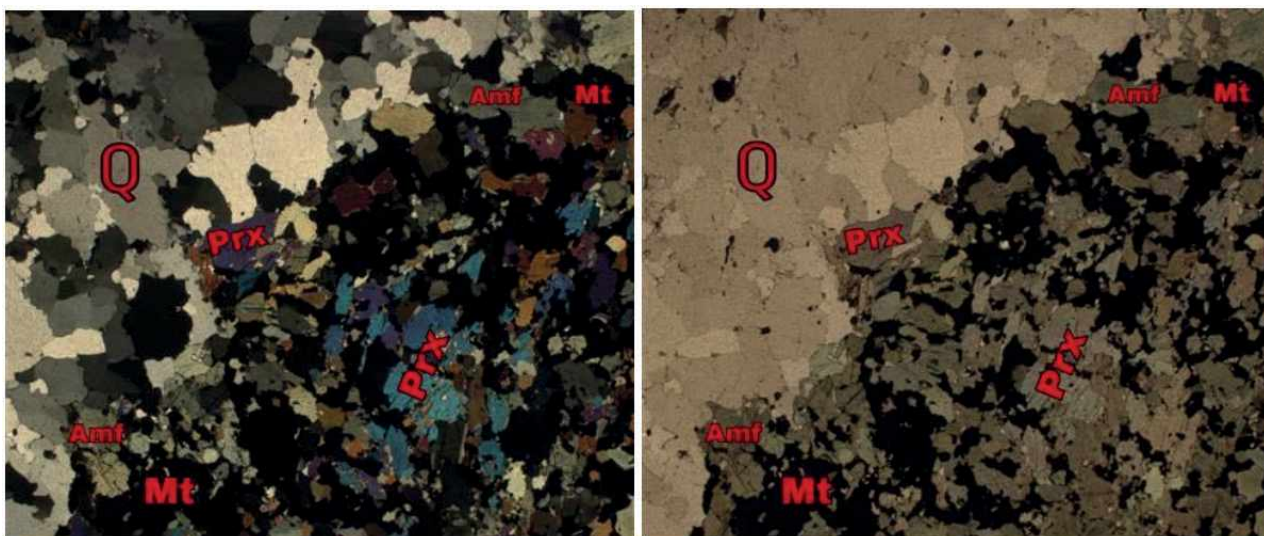


Рис. 1. Контакт железистого кварцита и амфибол-пироксен-магнетитового кварцита, обр. № 1, николи+

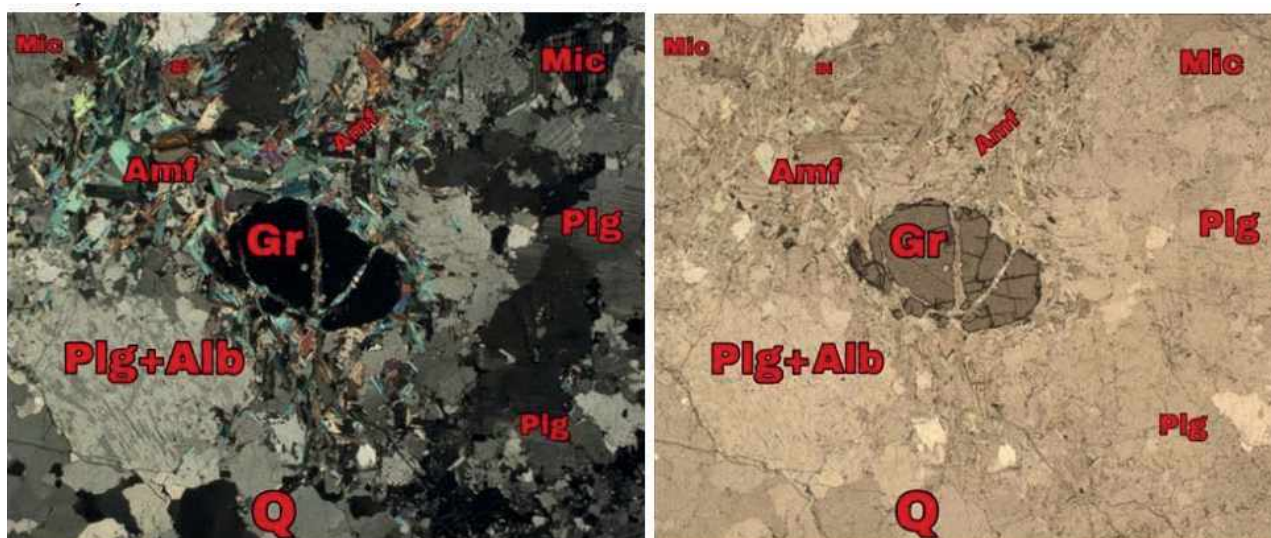


Рис. 2. Пертиты альбита в зернах плагиоклаза, обр. № 3, николи+

Материалом для исследований послужили образцы керна скважин 116 и 134 Печегубского месторождения, отобранные в ходе производственной практики летом 2023 г.

Печегубское месторождение железных руд расположено в 10 км к югу от г. Оленегорск в центральной части Мурманской области.

Печегубское месторождение расположено на крайнем юго-востоке Северо-Восточной полосы рудоконтролирующей полосы Заимандровского рудного района. В структурном отношении Заимандровский железорудный район занимает краевую, юго-западную часть Кольского блока Колозерско-Кировогорской зоной разломов субмеридионального направления район разделяется на две структуры: Главная (Приимандровская) и Ровквунская.

В геологическом строении района участвуют метаморфические породы архея, интрузии позднего архея, раннего протерозоя и палеозоя, четвертичные отложения [1].

Наиболее древними образованиями района являются породы кольского метаморфического комплекса раннего лопия (верхний архей), образующие полосу шириной до 15 км северо-западного простирания, ограниченную с юго-запада и северо-востока гнейсо-диоритами вежетундровского комплекса.

В составе кольского метаморфического комплекса по преобладанию соответствующих пород выделяются три подкомплекса: 1) амфиболито-гнейсовый; 2) железистых пород и гнейсов; 3) глиноземистых гнейсов.

Объектом изучения в данной работе являются керновые образцы из скважин 116 и 134 Печегубского месторождения. Для проведения исследований автором отобрано 7 образцов железистых кварцитов и вмещающих пород.

Исследования проводились в лабораториях Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ с помощью комплекса методов: метод оптической микроскопии (микроскопы Axio imager vario a2m, ПОЛАМ РП-1); рентгеноструктурный анализ (РСА) (BRUKER, Г. М. Ескина); микрорентгенофлуоресцентный анализ (микро-РФА) (спектрометр M4 Tornado, оператор Р. Музафаров); сканирующая электронная микроскопия и микрозондовый анализ (Merlin (Carl Zeiss), В. Сотникова).

Для оптической световой микроскопии и петрографического описания изготавливались шлифы и аншлифы, которые также изучались методом микро-РФА, для получения карт распределения химических элементов.

В шлифах в обр. № 1 была описана зона контакта железистого кварцита и амфибол-пироксен-магнетитового кварцита (рис. 1). Также в переходных зонах были встречены зерна граната. В обр. № 3 наблюдались пертиты альбита в зернах плагиоклаза (рис. 2).

Методом РСА по дифрактограммам определены следующие минералы: кварц, разновидности амфиболов и слюд, альбит, микроклин, магнетит, кальцит, каолинит, в единичных экземплярах встречаются также диопсид, клинохлор. Из группы амфиболов минеральный состав образуют минералы: куммингтонит, тремолит и роговая обманка. Из группы слюд встречены биотит и мусковит.

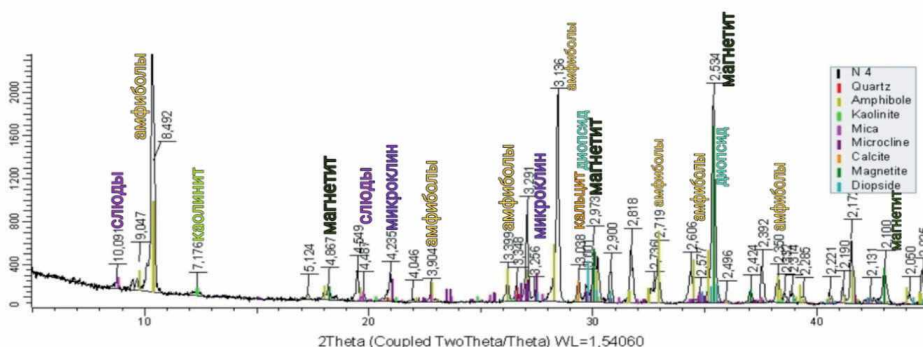


Рис. 3. Дифрактограмма по результатам РС-анализа, обр. № 4

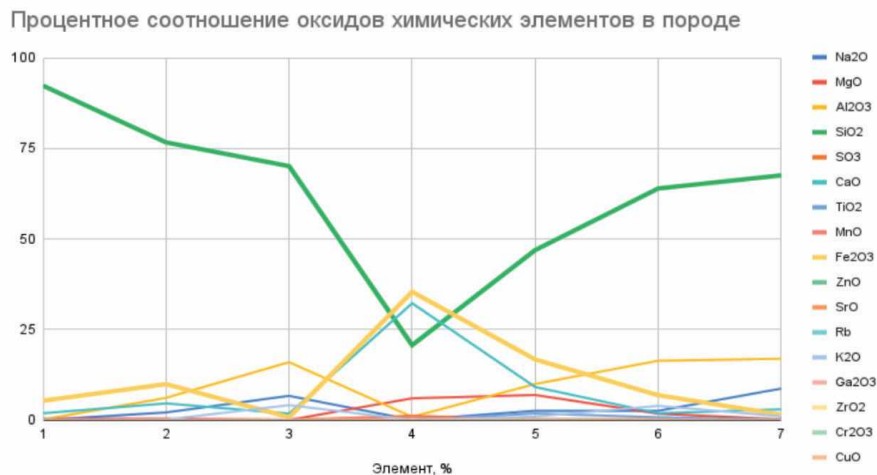


Рис. 4. Процентное соотношение оксидов химических элементов в породе



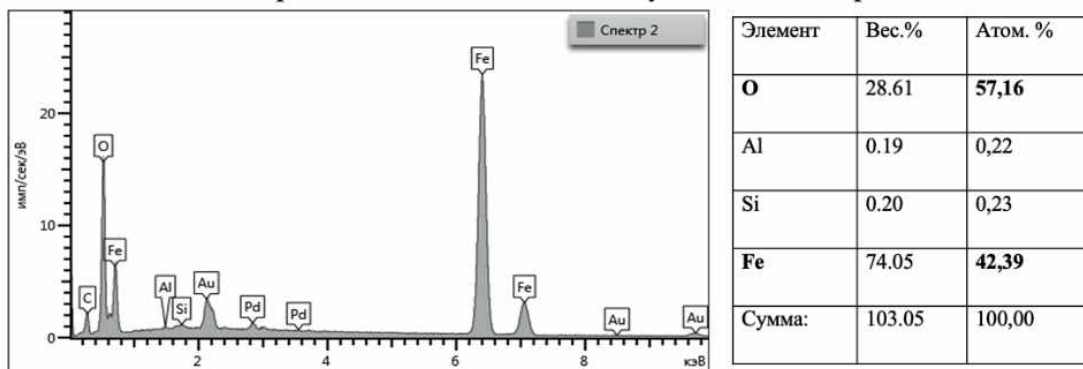


Рис. 5. Спектры магнетита, обр. № 1

Наличие в образцах кальцита и каолинита можно объяснить вторичными изменениями в образцах: карбонатизация и хлоритизация (рис. 3, 4).

По результатам исследования методом микро-РФА в железистых кварцитах, в наибольшем количестве были выделены химические элементы Si, Fe. Во вмещающих породах в наибольшем количестве содержится Si.

Сканирующая электронная микроскопия и микрозондовый анализ позволили изучить химический состав минеральных видов на отдельных участках шлифов (рис. 4).

Таким образом, исследуемые образцы железистых кварцитов по содержанию темноцветных силикатов разделяются на разновидности: амфиболовые (куммингтонитовые, тремолит-актинолитовые, роговообманковые) (образец № 1–2) и диопсид-амфиболовые (образец № 4).

Содержание магнетита в железных рудах доходит до 25%, что соответствует рудным железистым кварцитам (рис. 5).

Помимо магнетита, рудную часть железистых кварцитов составляют сульфиды: пирротин, халькопирит, пирит. Также по результатам сканирующей электронной микроскопии встречаются сфалерит и ильменит.

Главным полезным элементом руды является железо, которое содержится в магнетите и в амфиболах. На основании полученных данных, среднее содержание железа в железистых кварцитах составляет 12,22%. Также железо присутствует в небольших количествах в сульфидах (пирит, пирротин, халькопирит), гранате и слюдах.

Железные руды Печегубского месторождения являются «чистыми» рудами, то есть не содержат в своем составе большое количество различных примесей, что определяет высокое качество руды.

### Литература

1. Горбачева С. А. Отчет о результатах поисков скрытых залежей железистых кварцитов в северо-восточной полосе Оленегорского железорудного района, проведенных в 1987–1990 гг. Мончегорск, ОАО «ЦКЭ», 1990.
2. Горяинов П. М. Геология и генезис железисто-кремнистых формаций Кольского полуострова. – Л. : Недра, 1976.
3. Ситдикова Л. М., Сидорова Е. Ю., Муллакаев А. И. Петрография магматических пород. Часть 1. – Казань : Казанский федеральный университет, 2022. – 50 с.
4. Точилин М. С., Горяинов П. М. Геология и генезис железорудных месторождений Приимандровского района Кольского полуострова. – Л. : Наука, 1964.

# РЕДКОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ Fe-Mn ГРАНАТОВ КАК ИНДИКАТОР ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ СПОДУМЕНОВЫХ ПЕГМАТИТОВ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ПОИСКОВЫЙ КРИТЕРИЙ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАШКИ, АФГАНИСТАН)

Н. Хамдард<sup>1</sup>, С. Г. Скублов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, nazifullahhamdard@gmail.com

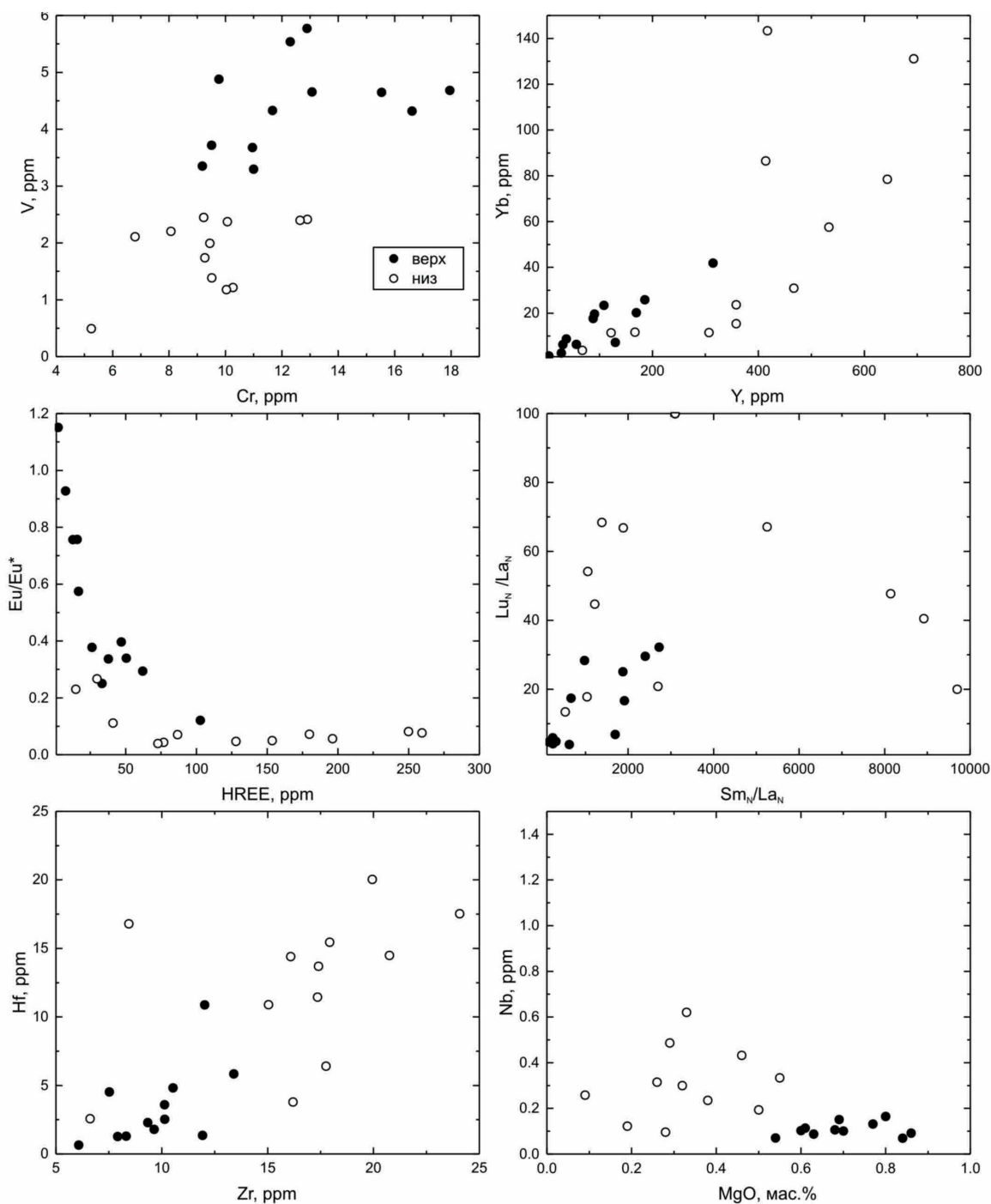
<sup>2</sup>Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук,  
Санкт-Петербург, skublov@yandex.ru

Тема востребованности и дефицитности литиевого сырья в настоящее время настолько широко известна, что безоговорочно ее можно отнести к числу наиболее глубоко исследованных сторон экономического, промышленно-технологического и ресурсного состояния минерально-сырьевых баз многих стран мира. На фоне грядущего истощения запасов активно разрабатываемых солевых и гидроминеральных месторождений литиевого сырья интерес к таким рудным объектам, как литиевые (сподуменовые) пегматиты, возрастает. Сподуменовые пегматиты имеют стратегическое значение для перехода к экологически чистой энергетике, что делает их ключевыми объектами разведки полезных ископаемых.

Афганистан обладает крупными пегматитовыми месторождениями лития, пространственно и генетически связанными с гранитами третьей фазы комплекса Лагман мел-палеогенового возраста. Редкометалльные пегматиты LCT-типа (специализированные на Li, Cs и Ta), к которым относятся сподуменовые пегматиты, широко представлены в восточной части страны, в основном в провинции Нуристан. Существенный вклад в их открытие и последующее изучение внесли советские геологи в 1970-е годы (Л. Н. Россковский и др.). Однако комплексное минералого-геохимическое исследование этих рудных объектов до настоящего времени не проводилось. Авторами настоящего сообщения были получены новые данные о типоморфных геохимических особенностях сподумена, берилла из месторождения сподуменовых пегматитов Пашки, заметно выделяющегося среди других по запасам лития и циркония из материнских гранитов [1; 2; 3; 5].

Месторождение Пашки находится в пределах Парунского пегматитового поля, в горах на высоте от 3000 до 4300 м. Здесь на площади 2,0 × 3,5 км среди метаморфических пород кашмундской серии верхнего триаса – кристаллических сланцев, кварцито-песчаников и мраморизованных известняков, обнажена серия протяженных (до 1 км и более при мощности до нескольких десятков метров) крутопадающих пегматитовых тел северо-восточного простирания с богатой сподуменной минерализацией. Состав рудоносных пегматитов месторождения Пашки – кварц-сподумен-микроклин-альбитовый. В его пределах пегматиты представлены двумя сравнительно крупными телами: жилами № 1, № 3 и жильной зоной № 2, представляющей собой «сетчатое» сочленение множества разноориентированных жильных форм. Предварительно оцененные запасы месторождения до глубины 100 м составляют 127 000 т Li<sub>2</sub>O [4]. Жила № 3, в которой были обнаружены кристаллы Fe-Mn гранатов, имеет штокообразную форму и залегает преимущественно согласно вмещающим породам (тонкослоистым гранатовым и ставролитовым кварц-биотитовым сланцам). По простиранию жила протягивается на 600 м, мощность – от 2 до 8 м. Характерно широкое распространение сахаровидных агрегатов мелкокристаллического альбита. На участках блоковой и пегматоидной структуры часто встречается турмалин (шерл), кристаллы которого достигают в длину 5–10 см. В верхней (головной) части жилы № 3 обычно можно наблюдать кристаллы берилла (аквамарина и гошенита) размером до 2–3 см.

Авторами был исследован состав гранатов по главным, редким и редкоземельным элементам из четырех образцов: двух образцов 003-1 и 004-1 из верхней части жилы № 3, с минеральной ассоциацией сподумен–микроклин–альбит(клевеландит)–поллуцит и двух образцов 002-4 и 003-4 из нижней части этой же жилы с минеральной ассоциацией сподумен–микроклин–альбит. Всего было выполнено (по стандартным методикам) 64 анализа на главные



**Рисунок. Контрастность составов Fe-Mn гранатов из месторождения Пашки в зависимости от положения в жиле сподуменовых пегматитов (верхняя или нижняя часть)**

элементы методом SEM-EDS (JEOL JSM-6510 LA с ED-системой JED-2200, ИГГД РАН, аналитик О. Л. Галанкина) и 24 анализа на редкие и редкоземельные элементы методом SIMS (Самеса IMS-4f, Ярославский филиал Физико-технологического института РАН, аналитики Е. В. Потапов и С. Г. Симакин), привязанные к точкам анализа методом SEM-EDS. Размер зерен гранатов варьирует в широком диапазоне: от первых сотен мкм до первых мм.

Гранаты, присутствующие в высокофракционированных гранитах и пегматитах, как правило, содержат значительное количество Mn, отличаясь этим от бедных Mn гранатов из недостаточно эволюционировавших пород. Спессартин или богатый Mn альмандин часто встречаются в высокофракционированных пегматитах, в то время как менее фракционированные пегматиты содержат в основном более железистые гранаты.

В гранатах из пегматитов месторождения Пашки содержание MnO варьирует от 11,36 до 4,85 масс.%, в среднем равняется 14,23 масс.%. Содержание FeO находится в диапазоне от 17,23 до 31,49 масс.%, в среднем 27,85 масс.%. Содержание MgO и CaO тоже невысокое: в масс.%, от 0,07 до 1,08 (в среднем 0,47) и от 0,19 до 0,95 (в среднем 0,39) соответственно. По соотношению миналов гранаты из пегматитов (за исключением одной точки) являются альмандинами, обогащенными Mn, с содержанием спессартинового минала в интервале от 26,5 до 48,9%, в среднем 33,0%. В одной точке граната (точка 18 в образце 002-4) содержание спессартинового минала составляет 57,8%, что позволяет отнести этот гранат к спессартину.

В гранатах из пегматитов месторождения Пашки внутризерновая зональность выражена отчетливо и достаточно однотипная: содержание спессартинового минала возрастает от центра к краю зерна (например, от 27,3 до 57,8%). Содержание альмандинового минала, напротив, уменьшается (от 69,4 до 39,6%). Распределение пиропового компонента имеет более сложный характер, но можно отметить, что к краю зерна его содержание падает (примерно от 2 до 1,2%). Распределение гроссулярового минала остается выдержанным на всем протяжении профиля. Такой характер зональности, по всей видимости, определяется рядом факторов, в том числе набором сосуществующих минералов (концентраторов того или иного элемента) и особенностями состава пегматитового расплава. Следует отметить, что для редкометалльных пегматитов мира тренд увеличения содержания спессартинового минала от центра к краю зерен является наиболее общей тенденцией, однако встречается и противоположная по Mn зональность.

Сравнение данных по составу Fe-Mn гранатов из образцов, относящихся к верхней и нижней частям пегматитовой жилы и отличающихся друг от друга по положению в вертикальной зональности месторождения на несколько сот метров, показало, что по ряду элементов и индикаторных отношений наблюдаются систематические отличия (рисунок). Так, гранаты из верхней части содержат больше V (здесь и ниже приведено медианное значение – 4,5 ppm), чем гранаты из нижней части (2,1 ppm). Отличие по содержанию Sr проявлено в меньшей степени, наблюдается тенденция, что в гранатах из нижней части жилы содержание этого элемента также ниже.

Для геохимически близких элементов, Y и Yb установлено, что в гранатах из верхней части пегматитовой жилы их содержание меньше (89 и 13 ppm), чем в гранатах из нижней части (386 и 27 ppm). Суммарное содержание тяжелых редкоземельных элементов (HREE) также ниже для верхней части (30 и 107 ppm соответственно). Отличительной особенностью гранатов из верхней части жилы является менее выраженная отрицательная Eu аномалия (Eu/Eu\* составляет 0,39 и 0,07 соответственно).

В целом спектры распределения REE в гранатах из верхней части жилы более пологие, относительно спектров для гранатов из нижней части, как в области легких REE, так и относительно всего ряда редкоземельных элементов. Эту закономерность хорошо иллюстрирует график зависимости  $Sm_N/La_N$  и  $Lu_N/La_N$  отношений.

Гранаты из различных частей разреза пегматитовой жилы месторождения Пашки контрастно отличаются по содержанию неформальных высокозарядных элементов – Zr, Hf и Nb. Так, в гранатах из верхней части этих элементов содержание этих элементов ниже (9,9, 2,4 и 0,1 ppm), чем в гранатах из нижней части (17,0, 14,0 и 0,3 ppm соответственно).

Гранаты из верхней части жилы более магниезильные (содержание MgO составляет 0,70 масс.%), чем гранаты из нижней части (0,32 масс.% соответственно). Следует подчеркнуть, что содержание пиропового минала является единственным среди главных и малых элементов, по которому значимо отличаются составы гранатов из различных участков вертикальной зональности.

Таким образом, в результате комплексного (главные, малые, редкие и редкоземельные элементы) исследования состава Fe-Mn гранатов в зависимости от положения в вертикальном разрезе крутопадающей сподуменовской жилы установлено, что гранаты из верхней части жилы, минеральная ассоциация для которой отличается появлением поллуцита и разновидности альбита – клевеландита, отличаются от гранатов из нижней части повышенным содержанием V

и пиропового компонента, и пониженным содержанием HREE и Y, высокозарядных элементов (Zr, Hf и Nb), пониженной амплитудой отрицательной Eu аномалии и менее дифференцированным характером спектров распределения REE. Установленные закономерности могут быть использованы в качестве геохимических поисковых критериев в целях определения уровня эрозийного среза для сподуменовых пегматитов как в России, так и в других регионах.

*Исследование выполнено в рамках Государственного задания ИГГД РАН (тема FMUW-2022-0005).*

### Литература

1. Иванов М. А., Хамдард Н., Скублов С. Г. и др. Распределение элементов-примесей по зонам и секторам роста кристаллов сподумена (месторождение Пашки, Нуристан, Афганистан) // Минералогия. – 2024. – Т. 10(2). – С. 46–57.

2. Левашова Е. В., Скублов С. Г., Хамдард Н. и др. Геохимия циркона из пегматитоносных лейкогранитов комплекса Лагман, провинция Нуристан, Афганистан // Russian Journal of Earth Sciences. – 2024. – Т. 24. – ES2011.

3. Скублов С. Г., Хамдард Н., Иванов М. А. и др. Примесный состав берилла из сподуменовых пегматитов месторождения Пашки (провинция Нуристан, Афганистан) // Вестник геонаук. – 2024. – № 2. – С. 46–50.

4. Benham A. J., Coats S. Minerals in Afghanistan: rare-metal deposits // Afghanistan Geological Survey website. – 2007. – URL: [https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/10924/1/RareMetals\\_A4.pdf](https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/10924/1/RareMetals_A4.pdf) (дата обращения: 14.09.2024).

5. Skublov S. G., Hamdard N., Ivanov M. A. et al. Trace element zoning of colorless beryl from spodumene pegmatites of Pashki deposit (Nuristan province, Afghanistan) // Frontiers in Earth Science. – 2024. – Vol. 12. – 1432222.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ИСТОРИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТУЮКАНСКОГО УРАНОВОРУДНОГО ПОЛЯ

А. М. Чепчугов<sup>1,2</sup>, Н. В. Леденева<sup>1</sup>, К. А. Полбина<sup>1</sup>, Е. Н. Карманов<sup>1</sup>, В. А. Прозоров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского, Москва,

<sup>2</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Москва, [chepchugov@vims-geo.ru](mailto:chepchugov@vims-geo.ru)

Тоновский потенциально урановорудный район, в который входит Туюканское рудное поле, расположен в Иркутской области, на территории северо-западной окраины Северо-Байкальского нагорья. В геологическом плане район приурочен к Тоновскому поднятию, которое занимает окраинное положение в структуре Байкало-Патомской складчатой области на границе с Сибирской платформой [1].

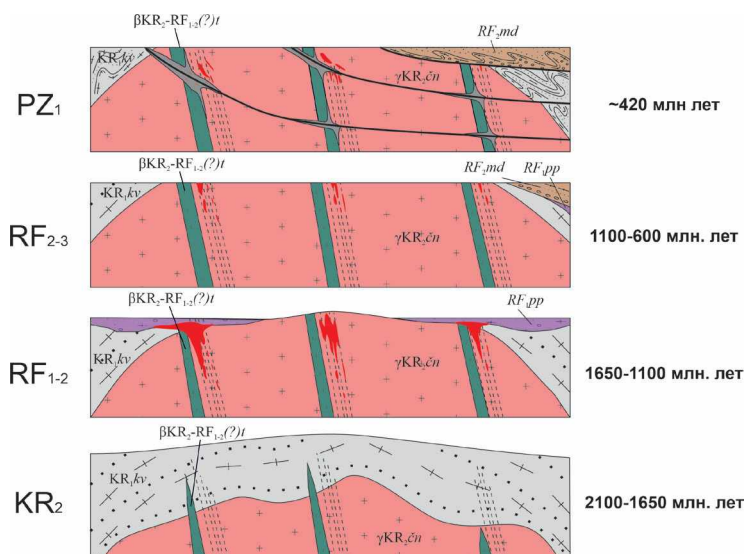


Рис. 1. Историко-геологическая модель рудообразования Туюканского рудного поля

В геологическом строении исследуемого участка выделяются два структурных этажа: раннепротерозойский кристаллический фундамент и рифейский метаосадочный чехол. Кристаллический фундамент представлен раннепротерозойскими гранитоидами Кевактинского массива, а также кварцитами и сланцами кевактинской серии. Локально на площади проявлены мелкие тела основного состава Туюканского комплекса. Рифейский чехол представлен в разной степени метаморфизованными терригенными породами медвежевской свиты. В строении территории большую роль играют тектонические нарушения северо-восточной и субширотной ориентировок. Следует подчеркнуть, что почти все разности пород как фундамента, так и осадочного чехла, тектонизированы в различной степени: подверглись катаклазу, бластомилонитизации и рассланцеванию.

В геолого-поисковой модели Туюканского рудного поля, составленной сотрудниками ФГБУ «ВИМС», важнейшими поисковыми критериями и признаками являются: пространственная связь оруденения с тектонически нарушенными зонами, которые трассируются телами основного состава; приуроченность к гранитоидам Чуйско-Нечерского комплекса и зонам тектонической проработки пород; наличие метасоматитов березитоподобного типа; аномалии уран-радиевой природы и наличие гипогенной и гипергенной урановой минерализации. При разработке геолого-поисковой модели была составлена также и историко-геологическая модель рудообразования, которая включает в себя 4 основных этапа развития территории, начиная с раннего протерозоя (рис. 1).

**Раннепротерозойский рудоподготовительный этап (2100–1650 млн лет)** связан с образованием полифазных гранитоидов Чуйско-Нечерского комплекса. Их образованию предшествовало формирование мощной толщи пород кевактинской серии. В заключительную стадию становления гранитоидов проявились высокотемпературные постмагматические изменения (альбитизация и грейзенизация). В конце рудоподготовительного этапа территория испытала тектоническую перестройку с образованием разломов северо-восточного направления. Произошло масштабное приоткрытие структур глубокого заложения и внедрение по ним базитовых интрузий Туюканского(?) комплекса. Их становление сопровождалось гидротермально-метасоматической деятельностью, выраженной в образовании ореолов гидротермалитов пропилитового облика.

Незначительные радиоактивные аномалии, образованные в этот этап, обусловлены наличием акцессорной минерализации, которая имеет тонковкрапленный гнездовый характер распределения и локализуется преимущественно в шлировидных скоплениях породного биотита. Она имеет комплексную специализацию и включает в себя минералы урана, тория и редких земель. Представлена в основном ортитом, цирконом, апатитом и сфеном, реже уранинитом,

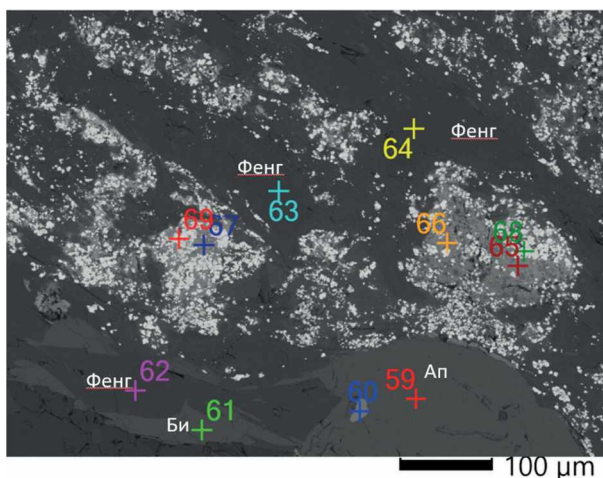


Рис. 2. Развитие настурана-1 и регенерированного уранинита (PCMA)

ураноторианитом и монацитом. Большая их часть метамиктна, претерпела значительные изменения состава и регенерирована.

**В ранне-среднерифейский этап первичного рудообразования (1650–1100 млн лет)** произошла тектоническая активизация, которая привела к подновлению нарушений, трассирующихся телами Туюканского комплекса, а также к внедрению на смежных территориях даек и силлов основного состава медвежевского комплекса. В подновленных структурах на территории Туюканского рудного поля на фоне пропилитов, но более локально проявились метасоматические изменения березитоподобного типа, в которых основным минералом является серицит, отвечающий по составу

мусковит-фенгиту. К участкам тонкослюдистых изменений пространственно тяготеют реликты первичной урановой минерализации с регенерированным микрозернистым уранинитом. Березитизированные граниты имеют на площади фрагментарное распространение, так как последующие тектонические преобразования нарушили первичное строение их ореолов и оруденения.

На месторождении Туюкан оруденение локализовано в зонах бластокатаклазированных и бластомилонитизированных гранитов с сериями милонитовых швов – струйчатых за счет ориентированных слюд (биотита и серицита) на фоне гранитоидов «очкового» облика. В них локализована урановая минерализация в виде гнездово-вкрапленных обособлений и струйчато-прожилковидных образований.

Изучение минерализации с помощью микрозонда позволило установить сосуществование двух разновременных урановых фаз. Первичное оруденение в рудных зонах представлено реликтами настурана-1. Для них характерен сохранившийся колломорфный облик выделений. Метамиктный распад настурана-1 привел к интенсивной гидратации уранового минерала и окислению урана до 6-валентного состояния. Эти изменения способствовали интенсивному ионному обмену с окружающей средой. В результате такого распада образовались многокомпонентные гели, которые вследствие последующей дегидратации затвердевали с образованием характерных контракционных трещин. В наиболее сохранившихся участках выделений настурана-1 содержания урана относительно велики и стабильны, но при увеличении степени гидратации, соответственно, снижаются содержания урана и свинца, частично компенсируясь повышением содержания кремнезема, алюминия, железа и др. Из наиболее гидратированного настурана выносятся практически весь уран. Эти продукты изменения настурана можно назвать многокомпонентными ураносодержащими алюмосиликатными метагелями.

**В средне-позднерифейский эрозионно-денудационный этап (1100–600 млн лет)** значительная часть уранового оруденения (в том числе, богатые руды в зоне структурно-стратиграфического несогласия), предположительно, была уничтожена эрозионно-денудационными процессами. По всей видимости, корни таких руд фиксируются на площади в настоящее время в виде Туюканского месторождения.

**В раннепалеозойский этап регенерации (~420 млн лет)** в регионе проявились обширные сдвиго-сбросо-надвиговые деформации, вследствие которых породы близлежащих территорий, в том числе и изучаемые гранитоиды, приобрели чешуйчатое строение. Породы претерпели интенсивные динамометаморфические преобразования в зонах милонитизации и бластомилонитизации.

При бластомилонитизации большая часть минералов исходных пород подверглась растаскиванию и дроблению с дальнейшей бластической перекристаллизацией. Таким образом, фаза настурана-1, как и другая радиоактивная минерализация (ториевая, U- Th-содержащая, редкоземельная) подверглась значительному разрушению с выносом урана (и других элементов) и переотложением их в виде новообразованных фаз. Регенерированный урановорудный минерал на месторождении Туюкан представлен уранинитом. Минерал развивается в виде рассеянной, но обычно густой микровкрапленности в участках милонитизации и развальцевания. Регенерированный уранинит развивается по настурану-1 и распространяется шире его выделений и скоплений, образуя телескопированные полихронные руды, в которых доля

Результаты исследования РСМА (к рис. 2)

Спектр	O	Al	Si	S	Ca	Ti	Fe	Pb	U	Минерал
65	8,2	2,4	3,8	1,3	1,3	0,7	8,9		73,4	настуран 1
66	15,4	2,9	8,6	1,5	1,4	1,1	7,2		61,9	настуран 1
67	3,3	0,3	0,8					2,3	93,3	уранинит
68	3,3	0,1	0,1					2,6	93,8	уранинит
69	3,4	0,1	0,1					2,7	93,7	уранинит

реликтов первичного настурана обычно составляет 20–30%, реже 40–50% (рис. 2; таблица). Уранинит имеет субкристаллический изометричный облик. Размер его индивидов составляет от 1–5 до 10 мкм. В отличие от первичного оксида урана, регенерированный уранинит имеет стабильный состав и слабо проявленные признаки вторичного изменения.

Регенерированное оруденение на рудопроявлении Натали локализовано в бластомилонитах плотного сложения кварц-альбит-биотитового состава, имеющих серую, темно-серую окраску. Урановорудная минерализация приурочена к линзовидной линейной полости, имеющей ориентировку, согласную со сланцеватостью породы и в мелких порах бластомилонита. Это свидетельствует о синхронном с расланцеванием отложении настурана-2 в локальных зонах разуплотнения, возникших при пластических деформациях пород. Рудный минерал представлен колломорфным и почковидным настураном, с которым ассоциируют небольшие количества железистого хлорита, карбоната, пирита, халькопирита, галенита и микровыделений самородного висмута. Внутри прожилков отсутствуют реликты какой-либо другой урановой минерализации (кроме гипергенных минералов уранила). По парагенетической ассоциации с самородным висмутом, температура отложения настурана-2 может быть ниже 200 °С.

Лабораторией изотопной геохимии и геохронологии (ИГЕМ РАН) было проведено изотопно-геохронологическое изучение оруденения рудопроявления Натали [2]. С помощью U-Pb (ID-TIMS) метода установлено, что образование настурана проходило в период  $424,8 \pm \pm 5,3$  млн лет назад. С этим событием связана экстракция радиогенного свинца из первичных урановых руд. Информация о возрасте первичных руд сохранилась в виде «замороженных» изотопных отношений  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  и  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  в переотложенном галените. Данные изучения изотопного состава свинца переотложенного галенита показывают, что образование первичных руд урана, послуживших источником этого свинца и начального этапа уранового рудообразования – около 1100 млн лет, что соответствует ранне-среднерифейскому этапу рудообразования по представленной ранее историко-геологической модели.

### Литература

1. *Машковцев Г. А., Константинов А. К., Мизута А. К.* и др. Уран российских недр. – М.: ФГБУ «ВИМС», 2010. – 850 с.
2. *Golubev V. N., Ledeneva N. V., Rassokhina I. V.* et al. Hydrothermal Uranium Mineralization in the Tuyukan Ore Field (Northern Transbaikalia): Time of Precipitation of the Pitchblende and Age of the Uranium Source // *Doklady Earth Sciences.* – 2024. – Vol. 517. – P. 1307–1313.

## РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ SC-СОДЕРЖАЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Ю. А. Чуриков<sup>1</sup>, Е. П. Пшеченкова<sup>1,2</sup>, А. А. Самсонов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва,

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Московский филиал, Москва, [churikov@geol.msu.ru](mailto:churikov@geol.msu.ru)

В настоящее время в Российской Федерации редкие металлы являются особо важным стратегическим минеральным сырьем, обеспечивающим безопасность и технологическую независимость государства. Распоряжением Правительства РФ от 30.08.2022 № 2473-р утвержден новый перечень основных видов стратегического минерального сырья, в который входит в том числе скандий. В нашей стране представлено несколько перспективных на скандий промышленно-генетических типов месторождений, в частности практическое значение могут иметь магматический титаномагнетитовый в пироксенитах (Гусевогорское титаномагнетитовое месторождение) и карбонатитовый (Ковдорское бадделеит-апатит-магнетитовое месторождение). Скандий присутствует в виде сопутствующей примеси в рудах и при переделе часто концентрируется в продуктах их переработки.

Качканарская группа месторождений вкрапленных титаномагнетитовых руд включает Гусевогорское и Собственно-Качканарское месторождения, приуроченные к Качканарскому





Схема отбора проб в хвостохранилище

габбро-пироксенитовому массиву. Руды характеризуются устойчивыми содержаниями скандия 0,007–0,01%. Минералы-концентраты скандия представлены клинопироксеном (диопсидом) и роговой обманкой (0,01–0,02% Sc) [2]. Разработку ведет ОАО «Евраз Качканарский ГОК» с 1963 г. открытым способом. Руды перерабатываются методом мокрой магнитной сепарации, скандий накапливается в силикатных хвостах. В настоящее время объем хвостов, накопленных в хвостохранилище, оценивается более, чем в 1500 млн т со средним содержанием скандия 0,004%.

Ковдорское месторождение бадделеит-апатит-магнетитовых руд приурочено к крупной вертикальной зоне разлома субмеридионального простирания в пироксеновых породах и ийолитах в юго-западной части Ковдорского массива. Рудная залежь окружена сплошной оторочкой апатит-форстеритовых и флогопит-апатит-форстеритовых пород. Руды характеризуются содержаниями скандия 0,001–0,01%. Основным концентратом скандия является бадделеит (до 0,065%), также скандий установлен в пироксене и оливине (до 0,015) [2; 4]. ОАО «Ковдорский ГОК» ведет добычу и переработку магнетитовых и апатитовых руд с 1962 г. открытым способом. Производство железорудного концентрата осуществляется на магнитной обогатительной фабрике (МОФ) методом мокрой магнитной сепарации. Далее хвосты магнитного обогащения поступают на апатит-бадделеитовую фабрику (АБОФ), где перерабатываются по флотационной технологии с получением апатитового концентрата. Хвосты апатитовой флотации поступают на переработку на бадделеитовый концентрат посредством гравитационного обогащения, флотации и электромагнитной сепарации. При обогащении руд скандий с бадделеитом переходит в концентрат.

Отходы обогащения сосредоточены в двух хвостохранилищах (1-е и 2-е поля). 1-е поле сформировано в период 1962–1981 гг. и сложено отходами «сухой» магнитной сепарации, накопленными в период 1963–1975 гг. до ввода в эксплуатацию апатитового комплекса АБОФ, и отходами «мокрой» магнитной сепарации, сформированными в 1962–1980 гг. [1]. Применявшаяся в первые годы работы ГОКа технологическая схема с извлечением единственного

Содержание скандия (г/т) в рудах и хвостах Ковдорского ГОКа

№ пробы	Руда			Хвосты					
	1	2	3	1	2	3	4	5	6
Sc	56,5	17,3	55,9	16,8	20,3	21,8	21,5	22,4	23,5

компонента (железа) определила накопление ценных минералов в отходах. В настоящее время ведется разработка техногенных песков 1-го поля хвостохранилища с производством апатитовых и бадделеитовых концентратов.

В пределах 1-го поля хвостохранилища из сухого материала были отобраны пробы (рисунок).

Хвосты представлены тонкоизмельчённым материалом крупностью 0,074 мм (95%). В направлении от поверхности к подошве залежи увеличивается содержание тонких фракций (менее 0,074 мм). Минеральный состав хвостов: апатит, форстерит, кальцит, флогопит, бадделеит, диопсид, магнетит. Химический анализ проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Содержание скандия в рудах и хвостах представлено в таблице.

Запасы техногенных песков в 1-м поле хвостохранилища составляют 11 457 тыс. т, по данным ГБЗ на 01.01.2024 г. Ресурсный потенциал хвостохранилища оценивается в 241 т скандия при среднем содержании 21,05 г/т (0,0021%).

Существует ряд схем извлечения скандия из бадделеитового концентрата. В частности, возможно экстракционное концентрирование скандия из хлоридных растворов, получаемых при разложении спека бадделеитового концентрата с карбонатом кальция [5].

Отходы переработки руд различных типов, характеризующихся повышенным содержанием скандия, могут стать надежным источником данного металла. Техногенное сырье часто является комплексным и, кроме скандия, в нем присутствуют другие ценные элементы-примеси, и несмотря на их незначительные содержания, высокие цены на металлы делают переработку такого сырья рентабельным. Однако необходимо дальнейшее доизучение форм нахождения скандия в рудах и продуктах их переработки – концентратах и хвостах.

#### Литература

1. *Архипов А. В.* Техногенные месторождения. Разработка и формирование: монография. – Апатиты : КНЦ РАН, 2017. – 175 с.
2. *Борисенко Л. Ф., Комиссарова Л. Н.* Минерально-сырьевые источники скандия и технологии его извлечения. – М. : ВИЭМС, 1989. – 59 с.
3. *Борисенко Л. Ф., Делицын Л. М., Поликашина Н. С.* Перспективы получения скандия из техногенных отходов. – М. : ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – 62 с.
4. *Калашников А. О.* и др. Ковдорский фоскорит-карбонатитовый комплекс как крупнейший источник скандия в России // Материалы Юбилейного съезда Съезда РМО «200 лет РМО». – 2017. – Т. 2. – С. 83–85.
5. *Лебедев В. Н.* Выделение и очистка скандия при переработке бадделеитового концентрата // Химическая технология. – 2007. – Т. 8. – № 1. – С. 33–37.

СТРАТИГРАФИЯ  
И ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

## СЛОЙ С *BALANOGLOSSITES* КАК МАРКИРУЮЩИЙ УРОВЕНЬ СТАРОИЗБОРСКОЙ СВИТЫ (НИЖНИЙ ФРАН, ПСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

М. Л. Барановская, Д. М. Смирнов

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, [tmariabaranowski@gmail.com](mailto:tmariabaranowski@gmail.com); [dms-51@yandex.ru](mailto:dms-51@yandex.ru)

Главное девонское поле (ГДП) – обширная зона распространения девонских отложений в северо-западной части Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Данная область характеризуется многообразием литологических разновидностей пород, среди которых выделяются песчано-глинистые, глинисто-карбонатные, известняково-доломитовые и карбонатно-сульфатные породы [5]. Распространение и характер залегания отложений изменяется по латерали в трех структурно-фациальных зонах (СФЗ): Прибалтийско-Ладожской, Изборско-Ильменской и западной части Псковско-Верхневолжской синеклизы [1]. Именно ярко выраженная фациальная изменчивость строения девонской толщи является главной особенностью ГДП и основной проблемой при корреляции пород между СФЗ и в их пределах.

Условия осадконакопления характеризовались нестабильностью и постоянной сменой гидродинамического режима и гидрохимического состава, свойственными эпиконтинентальному мелководному бассейну.

В Прибалтийско-Ладожской СФЗ, расположенной на северо-востоке ГДП, различные ритмы осадконакопления более наглядны, нежели в Изборско-Ильменской СФЗ. В северо-восточных разрезах смена условий накопления пород, вызванная изменениями глубины, гидродинамического режима или гидрохимических характеристик, литологически выделяется намного четче. На примере выходов девонских отложений по берегам р. Сясь можно увидеть четкую смену ритмов в чередовании терригенных и карбонатных толщ. В западных частях ГДП изменения условий осадконакопления заметно намного хуже. В обнажениях р. Великая выделяется единая карбонатная толща горных пород, представленная известняками староизборской свиты различной глинистости и доломитизированности.

Староизборская свита выделена в 1999 г. коллективом исследователей во главе с В. Р. Вербицким путем объединения достаточно схожих литологически псковских, чудовских и дубниковских слоев [1], которые впервые были выделены Р. Ф. Геккером в 1930-х годах [2].

Староизборская свита представлена толщей известняков, переслаивающейся с глинами, имеющими подчиненное значение. Нижняя часть свиты представлена чередованием доломитизированных плотных известняков с оже-

лезнениями и прослоями мергелевидных глин. Верхняя часть свиты сложена чередованием органогенных известняков, мергелей и глин.

Если для Прибалтийско-Ладожской СФЗ наиболее часто используемым методом расчленения отложений является ритмостратиграфия, то для Изборско-Ильменской СФЗ необходимо подобрать экостратиграфические реперы, которые дополняют ритмостратиграфические методы и помогут выделить в толще породы более короткие этапы осадконакопления. Главными требованиями, предъявляемыми к таким реперам, являются возможность прослеживания их на больших расстояниях и узнаваемость в разрезе.



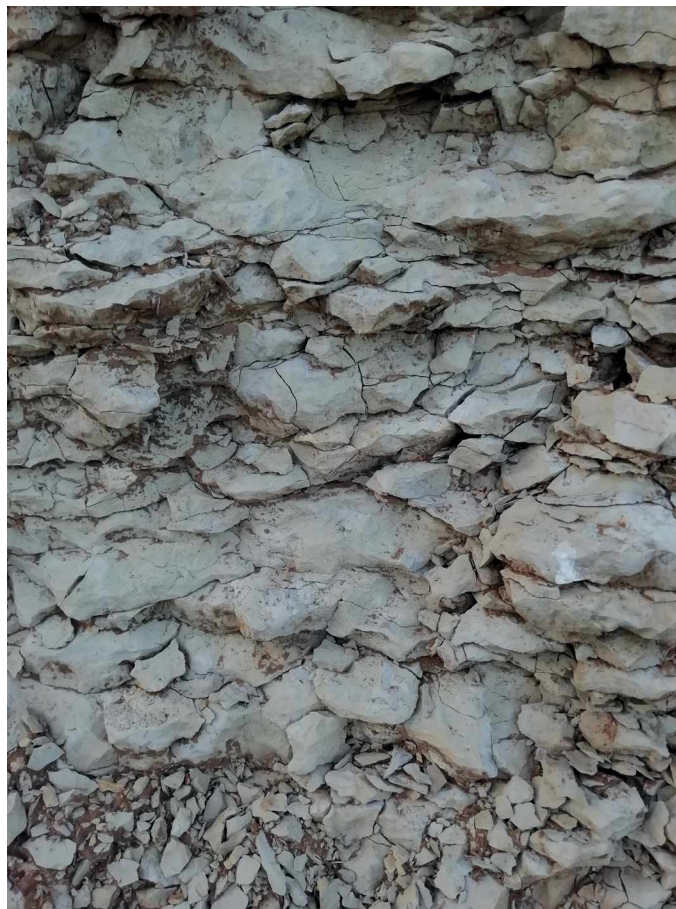
**Рис. 1.** Изучаемый слой с икнофоссилиями *Balanoglossites*. Высота обрыва – около 3 м

Староизборская свита, нижний фран. Деревня Кузнецово, Псковская область

Одним из таких возможных коррелятивных уровней является присутствующий в староизборской свите слой с ихнофоссилиями *Balanoglossites* (рис. 1, 2), имеющий в своем составе, а также ограниченный сверху и снизу поверхностями твердого дна (хардграундами).

Ихнород *Balanoglossites* был выделен К. Магдффрау в 1932 г. [8], в 2008 г. Дирк Кнауэст произвел ревизию этого ихнорода. Ихнофоссилии *Balanoglossites* являются сложными комплексными следами поведения древних бесскелетных организмов, отличительной особенностью которых является наличие как следов рытья, так и сверления. С точки зрения морфологии ихнород характеризуется разветвляющимися ходами с многочисленными ответвлениями желуде-, луковице- или копьеобразной формы. Ходы имеют эллиптическую или круглую форму в поперечном сечении, размер туннелей в пределах одной системы галерей варьируется [7]. Важнейшим палеоэкологической характеристикой *Balanoglossites* является то, что животное-слеодообразователь могло жить и строить норы на поверхности морского дна, как в условиях мягкого характера субстрата, образуя ходы рытья, так и в условиях литифицированного твердого дна, с образованием ходов сверления. То обстоятельство, что животное-слеодообразователь ихнофоссилий *Balanoglossites* могло жить в условиях различной, в том числе меняющейся с течением времени, консистенции грунта, делает данный ихнород менее зависимым от палеоэкологических условий и дает предпосылки к тому, чтобы животное-слеодообразователь могло приспосабливаться и заселять большие площади.

Упомянутый выше слой, предлагаемый в качестве репера, был изучен в г. Псков в обнажении на левом берегу р. Великая у моста имени 50-летия Октября (стратотип псковских слоев), а также в деревне Кузнецово Псковской области (левый берег р. Великая). Ихнород *Balanoglossites* в псковских слоях представлен ходами неправильной формы, образующими трехмерную систему, в которой присутствуют горизонтальные, наклонные, вертикальные



**Рис. 2.** Ходы *Balanoglossites* на трещиноватой поверхности обнажения

Староизборская свита, нижний фран. Деревня Кузнецово, Псковская область



**Рис. 3.** Следы *Balanoglossites* в псковских слоях (вид на поверхность кровли) Староизборская свита, нижний фран. Деревня Кузнецово, Псковская область

ходы, а также большое число ответвлений-камер разнообразной формы. Ходы расположены хаотично друг относительно друга, какая-либо геометрическая закономерность в их распределении в пространстве отсутствует. Биотурбацией в значительной степени переработана вся толща, ихнотекстурный индекс 3–4 (определен по методике, указанной в [4; 6]). Ходы заполнены более глинистым светлым охристо-желтым известняком (рис. 3).

Еще одним важным свойством рассматриваемого слоя является то, что он как имеет в своем составе, так и ограничивается сверху и снизу поверхностями хардграундов, которые прослеживаются на больших расстояниях и часто используются для корреляции (например, [3]).

Благодаря тому, что в отложениях франского возраста на территории ГДП отсутствуют другие стратиграфические подразделения, характеризующиеся наличием ихнофоссилий *Balanoglossites*, высокому значению ихнотекстурного индекса, а также наличию хардграундов данный слой легко и однозначно опознается как в обнажениях, так и в керне скважин. Способность животного-слеодообразователя приспосабливаться к различным условиям создает предпосылки к устойчивости ихнокомплекса на большой площади. Это положение было подтверждено в ходе полевых исследований – самые удаленные друг от друга из изученных обнажений находятся на расстоянии 12 км друг от друга, при этом мощность и ихнотекстурные особенности изучаемого слоя отличаются незначительно.

Таким образом, слой с ихнофоссилиями *Balanoglossites* обладает высоким коррелятивным потенциалом для местной стратиграфии Изборско-Ильменской СФЗ. Выдержанность слоя по площади и наличие устойчивой узнаваемой текстуры позволяют использовать его в качестве стратиграфического репера.

### Литература

1. Вербичкий В. Р., Вербичкий И. В., Васильева О. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. – 510 с.
2. Геккер Р. Ф. Тафономические и экологические особенности фауны и флоры Главного девонского поля. – М. : Наука, 1983. – 144 с.
3. Кнаусл Д., Дронов А. В. Ихнотекстуры *Balanoglossites* из волховской свиты среднего ордовика в окрестностях Санкт-Петербурга, Россия // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2013. – Т. 21, № 3. – С. 22–38.

4. Миклаши Р., Дронов А. Палеоихнология – введение в изучение ископаемых следов жизнедеятельности. – Прага : Геологический институт Академии наук Чешской Республики. – 122 с.
5. Проблемы экологии фауны и флоры древних бассейнов. К I Международному конгрессу по палеоэкологии // Труды Палеонтологического института АН СССР. Т. 194. – М. : Наука, 1983.
6. Droser M. D., Bottjer D. J. Asemi-quantitative field classification of ichnofabric // Journal of Sedimentary Petrology. – 1986. – Vol. 56. – P. 556–559.
7. Knaust D. *Balanoglossites* Mägdefrau, 1932 from the Middle Triassic of Germany: part of a complex trace fossil probably produced by burrowing and boring polychaetes // Paläontologische Zeitschrift. – 2008. – Vol. 82. – P. 347–372.
8. Mägdefrau K. Übereinige Bohrgänge aus dem Unteren Muschelkalk von Jena // Paläontologische Zeitschrift. – 1932. – Vol. 14. – P. 150–160.

## ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ НИЖНЕГО ГОТЕРИВА ЮГО-ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО КРЫМА

К. А. Дубкова<sup>1,3</sup>, В. А. Чеботарева<sup>1,2</sup>, С. Б. Шишлов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

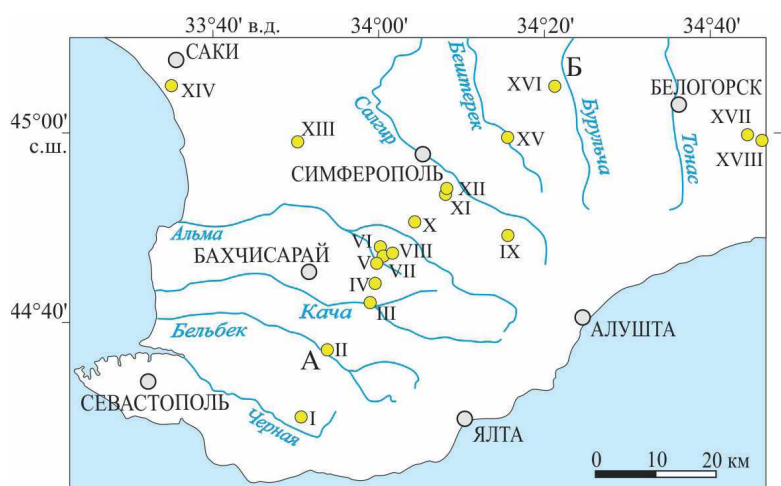
<sup>2</sup>Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, ksenya-dubkova@mail.ru

**Введение.** Проблемам стратиграфии и палеогеографии нижнеготеривского интервала разреза Крыма посвящены многочисленные работы например, [3; 4; 6; 7; 9; 10]. Существенный вклад внес Е. Ю. Барабошкин, который выполнил ревизию аммонитов и установил в разрезах зональные подразделения [2].

Вместе с тем, до настоящего времени дискуссионным остается вопрос о конфигурации бассейна осадконакопления в раннем готериве и источниках сноса терригенного материала.

**Фактический материал.** В работе использованы послойные литологические описания 20 разрезов (рис. 1). Их подробная характеристика приведена в публикациях [5; 8]. Структурно-вещественные особенности пород уточнены при петрографических исследованиях 70 шлифов на микроскопе Leica DM4500 P с микропозиционным столиком (Научный парк СПбГУ). Кроме того, выполнены определения соотношений силикатной и карбонатной составляющих методом компьютерной микротомографии на приборе ScyScan 1172 (Научный парк СПбГУ), количество и гранулометрический состав нерастворимого остатка (ИГГД РАН).



**Рис. 1. Расположение основных разрезов и их номера**

I – с. Новобобровка, II – Сбросовый лог, III – гора Резаная, гора Белая, IV – овраг Кояс-Джилга, V – гора Патиль, VI – гора Лесистая, гора Змеиная, VII – гора Малый Кермен, гора Большой Кермен, VIII – Первомайский карьер, IX – с. Мраморное, X – с. Партизанское, XI – Курцовский карьер, XII – Петропавловский карьер, XIII – с. Новоселовка, XIV – с. Новофедоровка, XV – долина р. Бештерек, XVI – Зуйский карьер, гора Кунич, XVII – с. Горлинка, XVIII – с. Земляничное

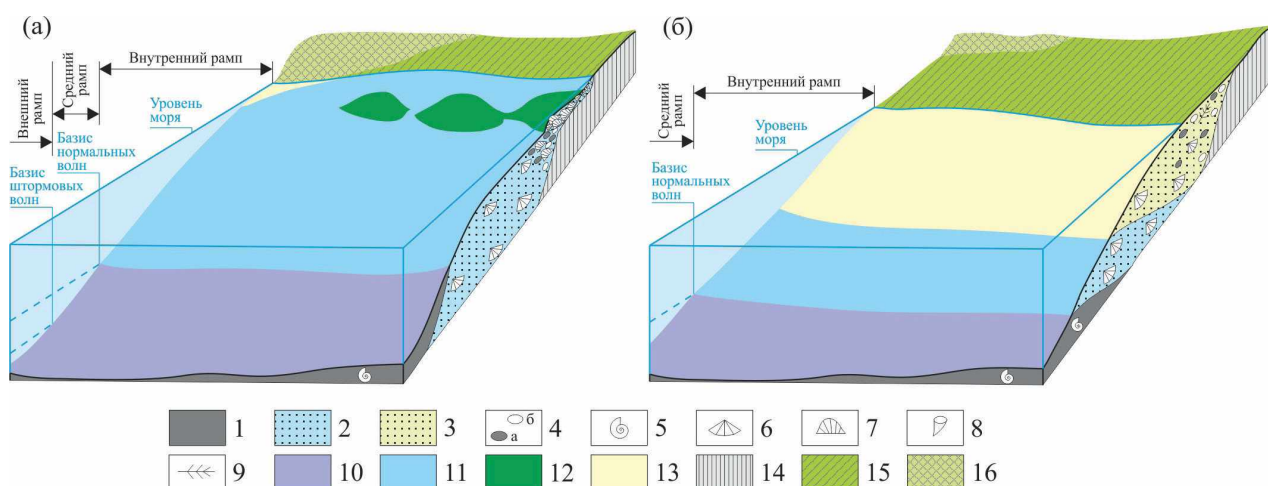
**Результаты.** В рассматриваемых разрезах установлены четыре литологических комплекса пород. Это глины глубоководья, известняки мелководья, песчаники мелководья и известняки патч-риффов.

Глины глубоководья известковистые, алевритистые серые массивные или с горизонтальной слойчатостью, содержащие остатки фораминифер, белемнитов, аммонитов и аптихи. Они накапливались ниже базиса волнений, в застойных условиях внешнего рампа с плохой аэрацией придонных вод.

Известняки мелководья (пакстоуны, грейнстоуны и рудстоуны) лито-биокластовые, светло-бурые с косою разнонаправленной слойчатостью. Форменные элементы представлены фрагментами морской фауны и окатанными обломками известняков. Песчаных зерен размером 0,05–2,0 мм от 10 до 40 %. Характерны гравий и мелкая галька кварца и кварцитов. Эти отложения формировались выше базиса нормальных волнений на мелководье внутреннего рампа с высокой гидродинамикой и нормальной соленостью.

Известняки патч-риффов образуют биогермы диаметром до 20 м и высотой до 6 м, сложенные фреймстоунами, состоящими из лепешковидных, реже дендроидных колоний склерактивных. Между постройками залегают песчаные рудстоуны и флаутстоуны, сложенные детритом морской фауны и кварцевыми зернами (до 20 % объема). Присутствие кораллов указывает на теплый морской бассейн с нормальной соленостью. Постройки не формировали единый барьер, а представляли собой цепочку изолированных патч-риффов, которые являлись локальными волноломами.

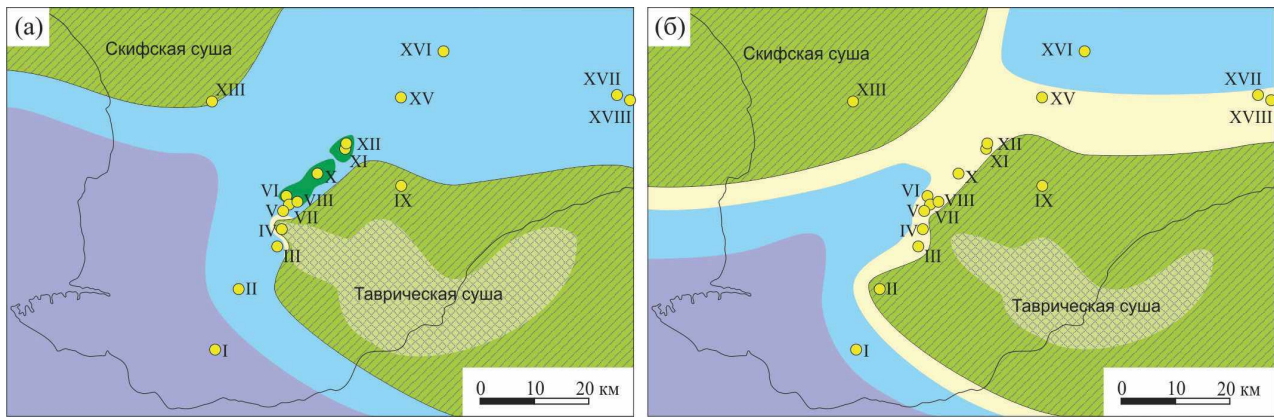
Песчаники мелководья, от мелко- до грубозернистых, средне- и плохосортированные, полевошпатово-кварцевые, известковые (карбонатного материала 30–48 %), желтовато-бурые, с плоскопараллельной и косою разнонаправленной слойчатостью, гравием и галькой экзотических и местных пород, ходами илоедов, фрагментами морской фауны. Присутствие таких осадков указывает на обилие терригенного материала, поступавшего в бассейн, и мелководные условия седиментации в водах с нормальной морской соленостью. Грубозернистые плохосортированные отложения накапливались у уреза воды в обстановках галечно-песчаного пляжа. Увеличение расстояния от берега и рост глубины приводили к уменьшению гранулометрического состава осадков.



**Рис. 2. Обстановки осадконакопления в раннем гоетериве во время трансгрессий (а) и регрессий (б)**

1–3 – отложения: 1 – глины, 2 – известняки, 3 – пески; 4 – гравий и гальки (а – экстракласты, б – интракласты); 5–9 – органические остатки: 5 – планктон и нектон, 6 – подвижный бентос; 7, 8 – неподвижный бентос: 7 – колониальные кораллы, 8 – одиночные кораллы; 9 – наземные растения; 10–13 – обстановки седиментации: 10 – низкодинамичное глубоководье, 11 – динамичное мелководье с карбонатной седиментацией, 12 – патч-риффы, 13 – динамичное мелководье с терригенной седиментацией; 14 – подстилающие породы и отложения предыдущего этапа осадконакопления; 15, 16 – суша: 15 – низменность, 16 – возвышенность





**Рис. 3. Палеогеографические реконструкции для раннего готерива (а – трансгрессивные этапы седиментации, б – регрессивные)**

Условные обозначения см. на рис. 2.

Структурно-вещественные, текстурные и тафономические особенности слоев, в сочетании с анализом их вертикальных и латеральных последовательностей в обнажениях Юго-Западного и Центрального Крыма позволили построить модели седиментации для трансгрессивных и регрессивных фаз осадконакопления. Образование нижнеготеривских разрезов можно объяснить миграцией донных ландшафтов, представленных на рис. 2.

Концептуальные модели обстановок осадконакопления использованы при составлении палеогеографических схем для трансгрессивных и регрессивных этапов (рис. 3).

В раннем готериве на юге располагалась возвышенная «Таврическая» суша – остров, образованный сохранившимся фрагментом киммерийской горной системы. На севере показана «Скифская» суша – низменность, сложенная породами палеозойского фундамента. «Таврическую» и «Скифскую» суши разделял морской пролив, ширина которого увеличивалась при трансгрессиях и сокращалась во время регрессий. При повышении уровня моря у северо-западного берега «Таврического» острова сформировалась полоса коралловых патч-риффов (рис. 3, а), которая прослеживается на протяжении 17 км. В это время в бассейне накапливались преимущественно известняки мелководья, а в глубоководных впадинах происходило формирование глин.

При регрессиях (рис. 3, б) возрастало количество поступающего в бассейн терригенного материала, что приводило к увеличению области накопления песков, гибели рифостроителей, и уменьшению площади распространения известняков.

**Заключение.** Полученные результаты показывают, что в раннем готериве на месте современного Юго-Западного и Центрального Крыма существовал морской бассейн, который обрамляли два источника терригенного материала – возвышенный «Таврический» остров, сложенный остатками киммерид, и низменная «Скифская» суша, образованная породами герцинского фундамента.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00197, <https://rscf.ru/project/24-27-00197/>*

#### Литература

1. Барaboшкин Е. Ю. Новая стратиграфическая схема нижнемеловых отложений междуречья Качи и Бодрака (Юго-Западный Крым) // Вестник МГУ. Сер. 4. Геол. – 1997а. – № 3. – С. 22–29.
2. Барaboшкин Е. Ю. Новые данные по стратиграфии готеривских отложений в междуречье Кача–Бодрак // Очерки геологии Крыма. – М. : МГУ, 1997б. – С. 27–53.
3. Барaboшкин Е. Ю. Палеогеография Восточно-Европейской платформы и ее южного обрамления в раннем мелу // 400 миллионов лет геологической истории южной части Восточной Европы / Отв. ред. А. М. Никишин – М. : Геос, 2005. – С. 201–232.
4. Друщиц В. В. О зональном делении нижнего мела юга СССР // Сборник в честь академика Йовчо Смиловича Йовчева. – София, 1964. – С. 217–246.

5. Дубкова К. А., Шишилов С. Б., Бугрова Э. М. и др. Строение и история формирования разреза нижнего мела – эоцена в центральной части Симферопольского поднятия // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2022. – Т. 164. – Кн. 2. – С. 297–313.

6. Лычагин Г. А. Меловая система. Нижний отдел // Геология СССР. Т. 8. Крым. Ч. 1. Геологическое описание. – М. : Недра, 1969. – С. 155–178.

7. Муратов М. В. Геология Крымского полуострова: Руководство по учебной геологической практике в Крыму. – М. : Недра, 1973. – Т. 2. – 192 с.

8. Шишилов С. Б., Дубкова К. А., Бугрова И. Ю. и др. Строение и условия формирования разрезов валанжинаготерива района среднего течения р. Бодрак (Юго-Западный Крым) // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2019. – Т. 64, № 1. – С. 114–135.

9. Янин Б. Т. О соотношении общих и местных стратиграфических подразделений нижнего мела Юго-Западного Крыма (междуречье Кача–Бодрак) // Вестник. МГУ. Сер. 4. Геол. – 1997. – № 3. – С. 29–36.

10. Янин Б. Т., Вишневецкий Л. Е. Меловая система. Нижний отдел // Геологическое строение Качинского поднятия Горного Крыма. Стратиграфия мезозоя. – М. : МГУ, 1989. – С. 81–123.

## НОВЫЕ МИКРОПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО КЛЮЧЕВЫМ РАЗРЕЗАМ СРЕДНЕГО И ВЕРХНЕГО ДЕВОНА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

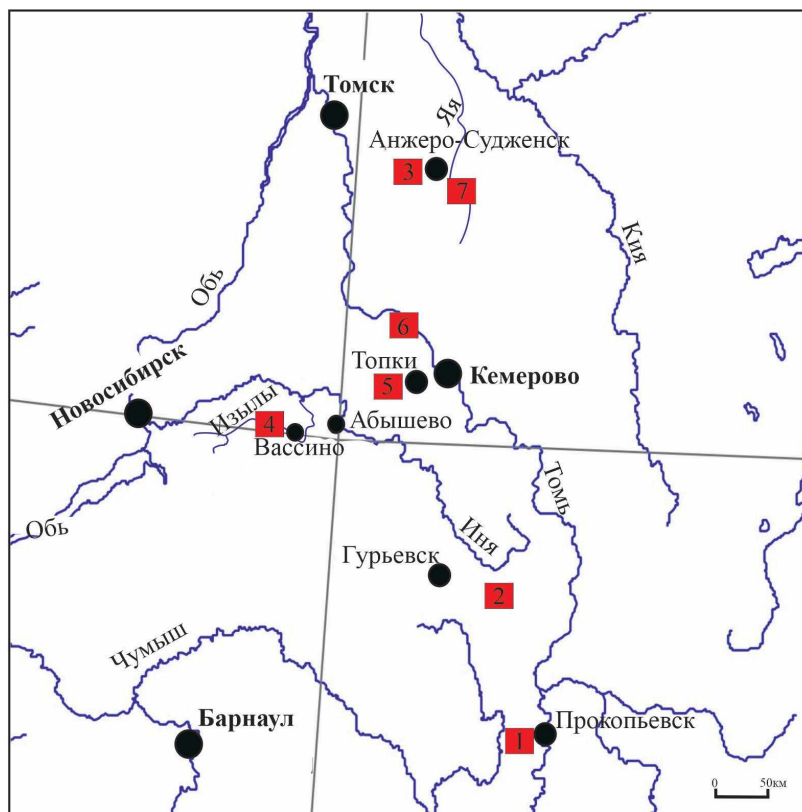
Б. М. Попов

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,  
Новосибирск, popovbm@ipgg.sbras.ru*

Средний и верхний девон на территории Кузнецкого бассейна и Салаира выходит в естественных обнажениях по берегам рек, в придорожных выемках и карьерах. Образцы для микрофаунистических исследований отбирались в ходе многолетних изучений разрезов коллективом сотрудников института. Основная часть образцов собрана в ходе полевых работ с 1981 по 2023 г. В результате изучения карбонатно-терригенных выходов западной части Алтае-Саянской складчатой области удалось установить последовательность отложений и выделить биостратоны с остракодами в ранге слоев с фауной.

В последние годы уточнена стратиграфическая последовательность горизонтов среднего девона Салаира и выделен заречный горизонт [3]. Среднедевонские остракоды на территории Салаира встречаются в разрезах вблизи г. Прокопьевск и с. Заречное (рисунок) в мамонтовском и заречном (акарачкинские, сафоновские, керлегешские слои) горизонтах (эйфельского и живетского ярусов). Мамонтовский комплекс нуждается в дополнительном изучении, и в настоящий момент выделить биостратоны по остракодам не удалось. Н. К. Бахаревым ранее в интервале керлегешских слоев были выделены слои с *Miraculum ornatus* [1]. Благодаря новым находкам данного вида в акарачкинских слоях, а также анализу характерного комплекса остракод в сафоновских и керлегешских слоях удалось уточнить интервал распространения вида *Miraculum ornatus* Bakharev, 1986 и расширить интервал слоев с *Miraculum ornatus* на весь заречный горизонт [3]. Горизонт отвечает интервалу в конодонтовой зональной последовательности: *kockelianus*, *eiflius*, *ensensis*, *hemiansatus*, *rhenanus*–*varcus*, *ansatus* и *semialternans* [3]. Новые данные позволяют проводить корреляции разрезов по остракодам, с учетом данных по другим группам фауны (аммоноидеи, конодонты, брахиоподы), внутри региона в интервале верхний эйфель – средний живет.

Типовой разрез мазаловско-китатского горизонта (живетского яруса) среднего девона выходит на территории северо-восточной окраины Кузнецкого бассейна. Разрез расположен в затопленном карьере на окраине с. Лебедянка (севернее г. Анжеро-Судженск) на правом берегу р. Алчедат (приток р. Китат) (рисунок). Живетский возраст мазаловско-китатского горизонта был установлен по брахиоподам *Euryspirifer pseudocheehiel* [2] и по комплексу конодонтов [5]. Приведенный комплекс конодонтов лебедянского разреза характеризует интервал конодонтовых зон *rhenanus* / *varcus* – *hermanni* среднего и низов верхнего живета [3; 4]. В результате проведенного биостратиграфического анализа удастся установить, что характерный комплекс остракод



**Схема расположения изученных разрезов**

1 – разрезы вблизи г. Прокопьевск (Салаир), 2 – разрез с. Заречное (Салаир), 3 – разрез Лебедянский карьер (северо-восточная окраина Кузнецкого бассейна), 4 – разрезы на р. Изылы (западная окраина Кузнецкого бассейна), 5 – разрез Соломинского карьер (северо-западная окраина Кузнецкого бассейна), 6 – разрезы на р. Томь (северо-западная окраина Кузнецкого бассейна), 7 – разрезы на р. Яя (северо-восточная окраина Кузнецкого бассейна)

нижней части разреза схож с Салаирскими слоями с *Miraculum ornatus*, но в настоящий момент вид-индекс не встречен. Проводя анализ верхней части разреза по остракодам, удастся встретить комплекс слоев с *Bairdia carinata*. Данные слои также прослеживаются в низах изылинской свиты (верхах верхнего живета) на территории западной части окраины Кузнецкого бассейна (бассейн р. Изылы) (рисунок), верхняя часть изылинской свиты остракодами не охарактеризована [7].

Нижняя часть франского яруса выходит в разрезе на р. Яя в северо-восточном районе окраины Кузнецкого бассейна. Там были выделены слои с *Bairdia kynovensis* (рисунок) в яя-петропавловской свите вассинского горизонта [7]. Комплекс остракод встречен совместно с многочисленными нижнефранскими брахиоподами [9].

Средний фран известен как на территории западной части (бассейн р. Изылы), так и в северо-восточной бассейн р. Яя (рисунок). Для данного интервала прослежены слои с *Bairdia vassinoensis* (рисунок), которые изначально выделены на р. Изылы в вассинской свите вассинского горизонта. На р. Яя слои с *Bairdia vassinoensis* встречены в верхней части яя-петропавловской свиты [7]. Аналогичные виды (*Bairdia* sp., *Amphissites* sp., *Bairdiocypris* sp.) из характерного комплекса слоев встречены также в глубокинской свите в разрезах на р. Томь, в районе дер. Глубокая и Соломинском карьере. Нижняя часть слоев с остракодами сопоставляется с конодонтовой зоной *hassi*, также в разрезе на р. Яя определены среднефранские брахиоподы [9].

Слои с *Hollinella valentinae* (рисунок) выделены в разрезе Соломинского карьера в соломинской свите и соответствуют верхней части франского яруса (соломинский горизонт), прослежены также в разрезах на реках Томь и Яя (рисунок). По изученному комплексу конодонтов данный интервал соответствует зоне *rhenana—linguiformis* (Изох и др., 2024), который

отвечает верхней части франского яруса, еще здесь установлен комплекс верхнефранских брахиопод и фораминифер [9]. Слои с *Pribylites domanicus* выделены в низах верхнего франа (низы шубкинской свиты) в западном районе окраины Кузнецкого бассейна на р. Изылы [7].

Фаменский ярус установлен в пещеркинском горизонте в северо-западной части окраины Кузнецкого бассейна, где были выделены слои с *Acratia granuliformis* (рисунок) и они соответствуют нижней части фаменского яруса [8]. По конодонтам зона *triangularis* – нижней части зоны *crepida* [6]. В западной части выходы фамена отсутствуют, а в северо-восточной части в разрезе на р. Яя найдены лишь единичные находки остракод в подонинском горизонте (верхнем фамене): *Moorites* sp. и *Cryptophyllus* sp. По конодонтам установлена зона *praesulcata* [4].

Получены данные по остракодам и сопоставлены с конодонтовой зональной шкалой в интервале верхний эйфель – верхний фамен. Выделенные биостратоны в ранге слоев существенно дополняют стратиграфическую схему западной части Алтае-Саянской складчатой области и служат в дальнейшем основой для внутри- и межрегиональной корреляции.

*Исследования выполнены в рамках ФНИ (FWZZ-2022-0005).*

### Литература

1. Бахарев Н. К., Базарова Л. С. Силурийские и девонские остракоды рода *Miraculum*: новые виды, филозоны // Новости палеонтологии и стратиграфии. Приложение к журналу «Геология и геофизика». – 2004. – № 6–7. – С. 75–88.
2. Елкин Е. А., Бахарев Н. К., Изох Н. Г. и др. Средний девон Колывань-Томской складчатой зоны (юг Западной Сибири) // Верхний палеозой России: стратиграфия и палеогеография. Материалы Всероссийской конференции, 25–27 сентября 2007 г. – Казань : Казанский государственный университет. – С. 99–102.
3. Изох Н. Г., Попов Б. М., Соболев Е. С. и др. Новые данные по биостратиграфии среднего девона Салаира, Юго-Западная Сибирь // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2022а. – № 2 (30). – С. 3–15.
4. Изох Н. Г., Анастасиева С. А., Андреева Е. С. Микрофауна подонинского горизонта верхнего фамена северо-восточной окраины Кузнецкого бассейна // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2022б. – № 11с. – С. 13–20.
5. Изох Н. Г. Новые живетские конодонты рода *icriodus* Колывань-Томской складчатой зоны (юг Западной Сибири) Палеонтологический журнал. – 2023. – № 5. – С. 76–81.
6. Изох О. П., Изох Н. Г., Попов Б. М. и др. Био-, литостратиграфические и геохимические маркеры глобальных событий верхнего девона юга Западной Сибири и их потенциал для межрегиональных корреляций // Геология и геофизика. – 2024. – Т. 65, № 8. – С. 1142–1169.
7. Попов Б. М. Биостратиграфические данные по остракодам из опорных разрезов среднего и верхнего девона окраин Кузнецкого бассейна (юго-восток Западной Сибири) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2019. – № 2 (38). – С. 3–15.
8. Попов Б. М. Биостратиграфическое значение остракод верхнего девона северо-западной части окраины Кузнецкого бассейна (р. Томь, юго-восток Западной Сибири) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2021. – № 4 (48). – С. 12–23.
9. Middle-Upper Devonian and Lower Carboniferous biostratigraphy of the Kuznetsk Basin / Eds. N. K. Bakharev, N. G. Izokh, O. T. Obut, J. A. Talent // Field Excursion Guidebook. Intern. conf. «Biostratigraphy, paleogeography and events in Devonian and Lower Carboniferous». – Novosibirsk : Publishing House of SB RAS, 2011. – 98 p.

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭКОГРУПП СПОРОМОРФ (СЭГ-АНАЛИЗ) ДЛЯ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ НА ПРИМЕРЕ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ СРЕДНЕГО ТРИАСА КАРСКОГО МОРЯ

Е. С. Разумкова, Е. В. Замарев

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, Elena\_Razumkova@karpinskyinstitute.ru,*

Одной из важных задач палинологического анализа, помимо установления возраста изучаемых отложений, является выявление обстановок осадконакопления. Количественный и качественный анализ палиноморф и другого органического вещества, содержащегося в

породе, помогает примерно определить местонахождение древней береговой линии; выявить трансгрессивно-регрессивные тренды, которые отражают динамику развития бассейна седиментации; выявить и оконтурить зоны осадочного бассейна, в которых развиты отложения с высоким углеводородным потенциалом, приуроченные к определенным фациям. Подобные виды исследований важны и востребованы в производственных геологоразведочных работах, при палеобиогеографических, палеоэкологических и других научных исследованиях.

Палинофациальный анализ имеет свою специфику в зависимости от возраста изучаемых пород. Для палеозойских отложений была предложена модель распределения фациальных комплексов в пределах обобщенного геоморфологического профиля море – суша с использованием цифрового кодирования фациальных комплексов ископаемых организмов, что позволяет анализировать трансгрессивно-регрессивные события [4]. Для определения палинофаций в юрско-меловых отложениях использовались данные по соотношению групп палиноморф морского и континентального генезиса: споры, пыльца, акритархи, диноцисты, пресноводные водоросли [5]. Некоторые исследователи предлагали учитывать также количественные и качественные показатели содержания органического вещества, такого, как фитокласты, зоокласты и аморфное органическое вещество [1; 9; 12].

Отдельно стоит отметить метод анализа эко-групп спороморф – СЭГ-анализ (от англ. SEG – sporomorph ecological group), в основе которого интерпретация палеоэкологических условий на основе характера распределения в разрезе таксонов определенной ботанической и экологической приуроченности. Метод был разработан для позднеюрской–раннемеловой эпох [7; 8], а позднее адаптирован для триаса [11] и в последние годы применяется отечественными палинологами [2; 6]. Результаты исследований показывают, что методом эко-групп спороморф можно реконструировать растительный покров, установить условия произрастания растений-продуцентов и в целом получить более обширную палеоэкологическую картину, чем по данным макрофлоры. Как показывают некоторые примеры, даже из одного палинологического образца, насыщенного палиноморфами, можно получить важную и полезную информацию об условиях осадконакопления [6].

Поэтому метод эко-групп спороморф был выбран нами для изучения нескольких проб, отобранных из триасовых отложений Карского моря, т. к. осадочный чехол его является перспективным на поиски углеводородов и в то же время (в связи с отсутствием масштабного глубокого бурения) остается малоизученным.

Палинологически были изучены пять образцов керна из 1,5-метровой толщи, вскрытой скважиной в акватории Карского моря и датированной по палинологии анизием среднего триаса [10].

Таблица 1

Типы экогрупп спороморф (СЭГ) и их характеристика

№ пп	Название СЭГ	Характеристика
1	Возвышенности	Растительность выше уровня грунтовых вод, никогда не затопляется
2	Сухие низины	Растительность на равнинах и/или пресноводных болот; может затопляться пресной водой, в результате чего в группе таксонов могут присутствовать виды, характерные как для засушливых, так и для обводненных условий; нет влияния моря и солей
3	Влажные низины	
4	Речные берега	Растительность по берегам рек; условия периодических затоплений и эрозии
5	Пионерная растительность	Растительность, которая появляется первой в нестабильных и недавно развитых нишах (например, первая растительность после регрессии на территории, которая долго была под морем)
6	Прибрежная растительность	Растительность побережья моря, быстро разрастается на территории, которая никогда не затопляется морем, но постоянно находится под его влиянием
7	Растительность приливно-отливной зоны	Растительность ежедневно под влиянием волн, регулярно затопляется морской водой

В основе СЭГ-анализа лежит принцип деления таксонов спор и пыльцы по их палеоэкологической приуроченности на семь групп (табл. 1) по принципу [7].

Для СЭГ-анализа образцов из Карского моря был проведен подсчет палиноморф в количестве не менее 200 экз. в каждом образце и составлена таблица ботанической и экологической приуроченности встреченных таксонов (табл. 2) на основе анализа литературных источников [2; 6; 11], (Lindström et al., 2017).

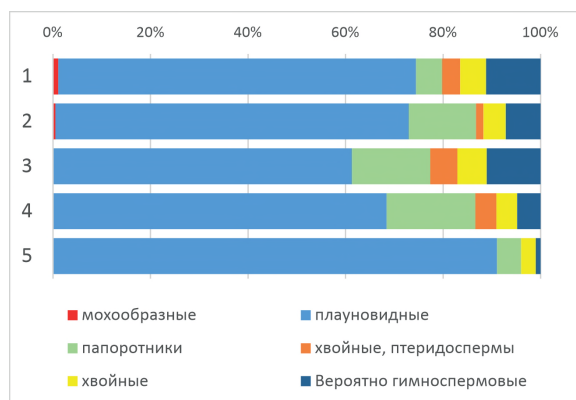
Обработка результатов анализа включает в себя два этапа. На первом этапе может быть две ситуации. В случае присутствия палиноморф морского генезиса строятся графики количественного распределения по разрезу семи основных групп: безмешковая пыльца, другие спороморфы, акритархи, диноцисты, переотложенные, пресноводно/солонатоводные палиноморфы, остатки фораминифер [8]. В случае отсутствия морских палиноморф строятся графики распределения палиноморф по разрезу по принципу их ботанической принадлежности [6]. На втором этапе строятся графики количественного распределения по разрезу эко-групп спороморф.

В нашем случае в образцах из анизия Карского моря присутствовали преимущественно миоспоры и единичные пресноводные водоросли (*Leiosphaeridia* sP., *Botryococcus* sP.). Поэтому был

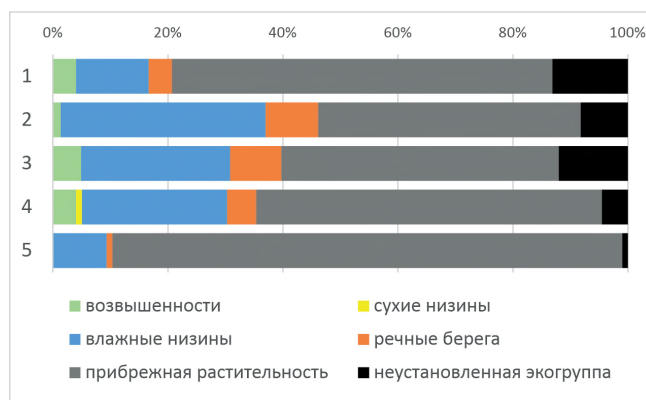
Таблица 2

Установленные в изученных образцах миоспоры, их ботаническая и экологическая специфика

Ботаническая принадлежность	Таксон	Экологическая приуроченность
Мохообразные	<i>Stereisporites</i> spp.	Речные берега
Плауновидные	<i>Anapiculatisporites spiniger</i>	Прибрежная растительность
Плауновидные	<i>Aratrisporites</i> spp.	Прибрежная растительность
Плауновидные	<i>Camarozonosporites</i> sp.	Речные берега
Плауновидные	<i>Nevesisporites</i> spp.	Речные берега
Плауновидные	<i>Perotrilites minor</i>	Влажные низины
Плауновидные	<i>Retusotriletes mesozoicus</i>	Влажные низины
Плауновидные	<i>Retusotriletes</i> spp.	Влажные низины
Плауновидные	<i>Selaginella</i> spp.	Прибрежная растительность
Папоротники	<i>Concavisporites tumidus</i>	Сухие низины
Папоротники	<i>Concavisporites</i> spp.	Влажные низины
Папоротникообразные	Equisetales	Речные берега
Папоротники	<i>Leiotriletes / Cyathidites</i> spp.	Влажные низины
Папоротники	<i>Leiotriletes microdiscus</i>	Влажные низины
Папоротники	<i>Leiotriletes rotundus</i>	Влажные низины
Папоротники	<i>Leschikisporites aduncus</i>	Влажные низины
Папоротники	<i>Marattisporites</i> spp.	Влажные низины
Папоротники	<i>Osmundacidites</i> spp.	Влажные низины
Папоротники	<i>Rugulatisporites mesozoicus</i>	Влажные низины
Хвойные, птеридоспермы	<i>Chordasporites singulichorda</i>	Возвышенности
Хвойные, птеридоспермы	<i>Chordasporites</i> spp.	Возвышенности
Хвойные	<i>Alisporites</i> spp.	Влажные низины
Хвойные	<i>Classopollis</i> spp.	Прибрежная растительность
Хвойные	<i>Lunatisporites noviaulensis</i>	Возвышенности
Саговниковые	<i>Cycadopitys</i> sp.	Сухие низины
Вероятно гимноспермовые	<i>Illinites chitonoides</i>	
Вероятно гимноспермовые	<i>Taeniasporites</i> spp.	
Не установлена	<i>Triplexisporites playfordii</i>	



**Рис. 1. Процентное распределение спороморф в изученных образцах 1–5 по их ботанической принадлежности**



**Рис. 2. Процентное распределение спороморф в изученных образцах 1–5 по экогруппам**

построен график распределения палиноморф по разрезу по принципу их ботанической принадлежности (рис. 1), на котором видно доминирование спор плауновидных растений и, в меньшей мере, папоротников, произрастающих в условиях теплого и влажного климата.

Большую долю среди споровых растений составили плауновидные, занимавшие преимущественно прибрежные области, влажные низины, марши, болота, в меньшем количестве присутствуют споры растений, произрастающих по берегам рек (рис. 2). Доминанты в составе плауновидных – споры *Aratrisporites*, которые продуцировали растения ликопсиды, некоторые виды которых были галофитами, заселявшими широкие приморские равнины (Lindström et al., 2017). Крайне малые показатели содержания спороморф, характерных для территорий с холмистым рельефом и сухих низин, говорят об их значительной удаленности от места осадконакопления.

В результате проведенных исследований из триасовой толщи Карского моря были выделены палинокомплексы, насыщенные спорами и пылью. Методом анализа экогрупп спороморф удалось установить, что во время накопления изученной осадочной толщи климат был теплым и влажным, а обстановка соответствовала прибрежной равнине, густо заселенной ликопсидами – группой плауновидных растений. Полученные сведения согласуются с палеогеографическими представлениями о тёплом и гумидном климате в начале анизия на территориях, являющихся ныне шельфом Арктических морей [3].

### Литература

1. Александрова Г. Н., Космынин В. А., Постников А. В. Стратиграфия и условия седиментации меловых отложений южной части Варьганского мегавала (Западная Сибирь) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2010. – Т. 18, № 4. – С. 65–91.
2. Ильина Н. В., Жарков В. А. Палинокомплекс сынинской свиты (средний триас) из обнажений на реке Вёртный (Большесыннинская впадина, Тимано-Североуральский регион) // Вестник геонаук. – 2023. – 3(339). – С. 23–41.
3. Левитан М. А., Антонова Т. А., Гельви Т. Н. Фациальная структура, количественные параметры и условия накопления мезозойско-кайнозойских отложений в циркумарктическом поясе. Сообщение 1. Триас–юра // Геохимия. – 2014. – № 6. – С. 519–538.
4. Макарова И. Р. Разнофациальные палиноспектры из верхнепалеозойских отложений Прикаспийской синеклизы, Урала, Тимано-Печорского региона и их значение для региона // Биостратиграфия нефтегазоносных бассейнов: Доклады Первого международного симпозиума, декабрь 1994 г., Санкт-Петербург, Россия. – СПб.: ВНИГРИ, 1997. – С. 134–140.
5. Раевская Е. Г., Шурекова О. В., Разумкова Е. С. и др. Возможности палинофациального анализа в палеогеографических построениях (байос–валанжин, Западная Сибирь) // Интегративная палеонтология: перспективы развития для геологических целей. Материалы LXIII сессии Палеонтологического общества при РАН (3–7 апреля 2017 г., Санкт-Петербург). – СПб., 2017. – С. 123–125.
6. Твердохлебов В. П., Сенников А. Г., Новиков И. В. и др. Самый молодой триасовый комплекс наземных позвоночных в России: состав и датировка // Палеонт. журнал. – 2020. – № 3. – С. 87–102.

7. *Abbink O. A., Van Konijnenburg-Van citter J. H. A., Visscher H.* A sporomorph ecogroup model for the Northwest European Jurassic-Lower Cretaceous I: concepts and framework // *Netherlands Journal of Geosciences.* – 2004a. – Vol. 83(1). – P. 17–38.

8. *Abbink O. A., Van Konijnenburg-Van citter J. H. A., Visscher H.* A sporomorph ecogroup model for the Northwest European Jurassic-Lower Cretaceous II: Application to an exploration well from the Dutch North Sea // *Netherlands Journal of Geosciences.* – 2004b. – Vol. 83(2). – P. 81–92.

9. *Batten D. J.* Palynofacies / Eds. J. Jansonius, D.C. McGregor // *Palynology: principles and applications.* – AASP Foundation, 1996. – Vol. 3. – P. 1011–1084.

10. *Malyshev N. A., Verzhbitskii V. E., Skaryatin M. V.* et al. Stratigraphic Drilling in the Northern Kara Sea: First Case and Preliminary Results // *Russian Geology and Geophysics.* – 2023. – Vol. 64, no. 3. – P. 257–269.

11. *Paterson N. W., Mangerud G., Mørk A.* Late Triassic (early Carnian) palynology of shallow stratigraphical core 7830/5-U-1, offshore Kong Karls Land, Norwegian Arctic // *Palynology.* – 2016. – P. 1–23.

12. *Van der Zwan R., Wenderoth P., Alais D.* Reduction of a pattern-induced motion aftereffect by binocular rivalry suggests the involvement of extrastriate mechanisms // *Visual Neuroscience.* – Cambridge University Press, 1993. – Vol. 10. – P. 703–709.

## **ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОГРАНИЧНОГО ИНТЕРВАЛА СЕНОМАНА–ТУРОНА ЮГО-ЗАПАДНОГО КРЫМА**

В. А. Чеботарева<sup>1,2</sup>, К. А. Дубкова<sup>1,3</sup>, С. Б. Шишлов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, vika.chebotaryowa@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург,*

<sup>3</sup>*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт  
им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург*

Пограничным отложениям сеномана и турона Юго-Западного Крыма посвящены многочисленные публикации [например, 1; 2; 3]. Интерес к этому интервалу в значительной степени связан с присутствием в прикровельной части сеномана «аксудеринских слоев», формирование которых связывают с глобальным бескислородным океаническим событием ОАЕ 2 [3].

Аксудеринские слои представляют собой чередование известняков микритовых, мергелей и глин, обогащенных органическим веществом. Этот уровень на границе сеномана–турона вызывает особый интерес у климатологов в связи с поиском палеоаналогов происходящего глобального потепления. Кроме того, существует ряд других дискуссионных проблем, связанных с особенностями аксудеринских слоев, в том числе способы поставки терригенного материала, связь с вулканизмом и/или другими климатическими изменениями [3].

Для уточнения условий формирования этого стратиграфического интервала с использованием геохимических индикаторов выполнены анализы образцов из обнажений оврага Аксу-Дере (обр. А-1, А-3 – сеноман, А-4, А5 – турон) и горы Кременная (обр. Кр-1/1 – сеноман) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). В исследованной выборке представлены породы трех литологических типов (рисунок).

### **Геохимия редкоземельных элементов в образцах терригенных пород из разрезов Аксу-Дере и горы Кременная**

Номер образца	Eu/Eu*	Th/Sc	Th/U	Ce/Ce*
А-1	1,65	0,64	0,56	0,58
А-3	1,92	0,81	1,03	0,56
А-4	1,49	1,15	2,55	0,43
А-5	1,49	1,49	2,72	0,49
Кр-1/1	1,33	1,23	2,62	0,64



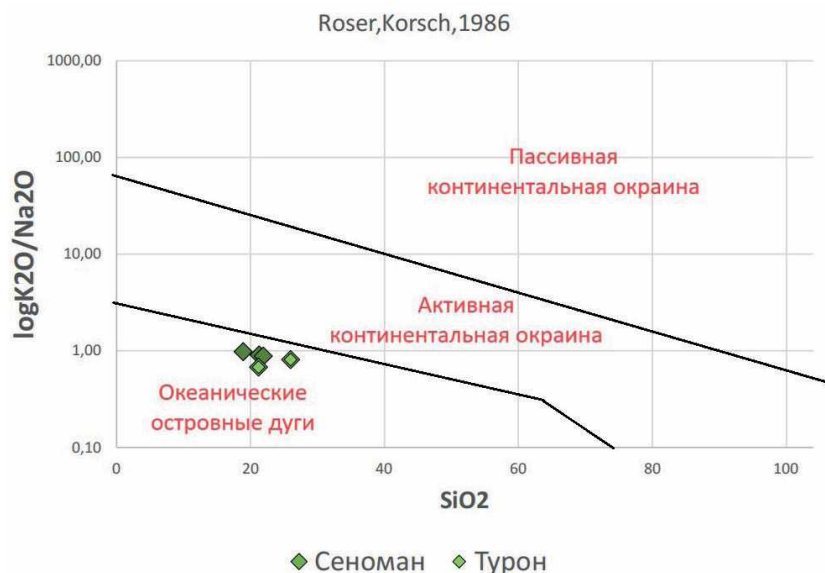


Диаграмма  $K_2O/Na_2O-SiO_2$  для терригенных пород [9]

1. Глины известковые, песчанистые и алевритистые буровато-черные, обогащенные тонкодисперсным органическим веществом (обр. А-1).
2. Мергели алевритистые и песчанистые (образцы А-3, А-5, Кр-1/1).
3. Интенсивно биотурбированное чередование вакстоунов кальцитовых глинистых и пакстоунов песчанистых (образец А-4).

Содержания РЗЭ, нормированные на РААС (постархейский австралийский сланец), отчетливо показывают положительную иттриевую аномалию, характерную для осадков морского генезиса. Отмечается отрицательная цериевая аномалия – такое поведение церия типично для современных океанических осадков. Можно видеть яркую положительную европиевую аномалию, подчеркивающую большой вклад вулканического вещества вблизи островных дуг или из области океанических базальтов.

Значения европиевой аномалии ( $Eu/Eu^*$ ), а также отношений  $Th/Sc$  и  $Th/U$  в образцах наиболее близки к таковым в молодых недифференцированных островных дугах [7], что согласуется с низкими значениями индекса  $CI_A$  и с незрелым химическим составом осадков (таблица). Нужно отметить также заметное различие значений  $Ce/Ce^*$ ,  $Eu/Eu^*$ ,  $Th/Sc$ ,  $Th/U$  между сеноманскими и туронскими слоями в разрезе Аксу-Дере. Значения  $Eu/Eu^*$  (1,6–1,9) в сеноманских слоях выше, чем в туронских –  $Eu/Eu^*$  (1,5). При этом значения  $Ce/Ce^*$  (0,56–0,58),  $Th/Sc$  (0,64–0,81) и  $Th/U$  (0,56–1,0) в сеноманских, наоборот – выше, чем в туронских –  $Ce/Ce^*$  (0,43–0,49),  $Th/Sc$  (1,2–1,5) и  $Th/U$  (2,5–2,7). Это указывает на то, что при накоплении сеноманских осадков, вероятно, преобладали более основные источники, чем при накоплении туронских.

На диаграмме  $K_2O/Na_2O-SiO_2$  [9] все образцы попадают в поле значений, характерных для океанических островных дуг. Это указывает на активное участие в формировании аксудеринских слоев вулканических туфов либо продуктов разрушения пород основного состава (рисунок).

На диаграмме  $Hf-La/Th$  [10] фигуративные точки попадают в поле островных дуг андезитового состава. Наиболее известковые разности пород турона (А-4) находятся на диаграмме ближе к полю осадков, сформированных за счет разрушения пород океанических островов и толеитовых базальтов, что подчеркивает большее влияние континентального сноса.

Полученные результаты показали, что образцы сеномана (А-1, А-3) попадают на диаграмме  $V-Ni-Th$  в поле основных пород [6], а на диаграмме Roser-Korsch (1988 г.) – в поле средних пород. Образцы турона (А-4, А-5) попадают на диаграмме  $V-Ni-Th$  в поле пород, обогащенных кварцем, на диаграмме Roser-Korsch в поле пород, обогащенных кремнеземом. Вероятно, это обусловлено большей степенью глинистости пород сеномана.

Значения индекса CIA (значительно меньше 70 – порогового значения зрелости осадка) указывают на принадлежность отложений к осадкам 1-го цикла переноса и на гумидные условия осадконакопления [4].

Таким образом, результаты литолого-геохимического исследования пород различных литотипов в разрезах Аксу-Дере и горы Кременная показали, что источником терригенного материала в породах пограничного сеноман-туронского уровня Юго-Западного Крыма являются продукты разрушения островных дуг или океанических островов, формировавшихся в это время к югу от п-ова Крым, в Понтидах [5].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00197, <https://rscf.ru/project/24-27-00197/>

### Литература

1. Алексеев А. С., Копаевич Л. Ф., Никишин А. М. и др. Пограничные сеноман-туронские отложения Юго-Западного Крыма. Статья 1. Стратиграфия // Бюл. МОИП. Отд. геол. – 2007. – Т. 82, вып. 3. – С. 3–29.
2. Гаврилов Ю. О. Накопление углеродистых отложений в разнофациальных обстановках мезозойско-кайнозойских палеобассейнов Северного Кавказа (влияние региональных и глобальных факторов) // Российская Академия Наук Институт геологии Дагестанского федерального Исследовательского центра РАН. – 2022. – С. 32.
3. Левитан М. А. и др. Геохимия пограничных сеноман-туронских отложений Горного Крыма и Северо-Западного Кавказа // Геохимия. – 2010. – № 6. – С. 570–591.
4. Маслов А. В., Крупенин М. Т., Гареев Э. З. Литологические, литохимические и геохимические индикаторы палеоклимата (на примере рифея Южного Урала) // Литология и полезные ископаемые. – 2003. – № 5. – С. 427–446.
5. Никишин А. М., Алексеев А. С., Барабошкин Е. Ю. и др. Геологическая история Бахчисарайского района Горного Крыма в меловом периоде // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 2009. – Т. 84, № 2. – С. 83–93.
6. Bracciali L., Marroni M., Pandolfi L. et al. Geochemistry and petrography of western tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): From source areas to configuration of margins // Geological Society of America Special Paper. – 2007. – Vol. 420. – P. 73–93.
7. McLennan S. M. et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics, 1993.
8. Roser BP, Korsch RJ. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio // Journal of Geology. – 1986. – Vol. 94. – P. 635–650.
9. Roser BP, Korsch RJ. Provenance signatures of Sandstone–Mudstone suites determined using discriminant function analysis of majorelement data // Chemical Geology. – 1988. – Vol. 67. – P. 119–139.
10. Floyd P. A., Leveridge B. E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // Journal of the Geological Society. – 1987. – Vol. 144, no. 4. – P. 531–542.

## ШАМАНСКИЙ РАЗРЕЗ НИЖНЕЙ ЧАСТИ ЧЕХЛА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ВЕНД, ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В. А. Черкасов, А. Т. Корольков

*Иркутский государственный университет, Иркутск,  
vaceslavc921@gmail.com, baley51@mail.ru*

На левом берегу р. Иркуты вблизи пос. Шаманка Иркутской области обнажена преимущественно красноцветная мотская серия верхнего венда, слагающая нижние части чехла Сибирской платформы [1] (рис. 1).

Литолого-фациальные особенности, вещественный состав и условия седиментации терригенно-карбонатных пород мотской серии детально доизучены в последние годы [3] с помощью современных методов литологического и фациального анализов. На правом берегу р. Иркуты напротив обнажения Шаманского утеса выходят кристаллические сланцы, метавулканиты и граниты фундамента Сибирской платформы. Сочетание пород фундамента и чехла докембрийской платформы в одной местности – прекрасный полигон для проведения разнообразных практик и составления учебной геологической карты. Подобные работы здесь проводились раньше. Студенты жили на базе отдыха и практик Иркутского государственного университета (ИГУ) возле Шаманского утеса, которая в настоящее время разрушена,



**Рис. 1. Обнажение карбонатно-терригенных пород мотской серии верхнего венда (Шаманский утес)**

т. к. эта территория сейчас не принадлежит ИГУ. В наши дни студентов знакомят с этим обнажением в течение 1 дня.

Нами была предпринята попытка сопоставить шаманскую и тирскую свиты, принадлежащие соответственно к внешнему и внутреннему районам Сибирской платформы и Ленско-Тунгуской нефтегазоносной провинции. Шаманская свита обнажена в разрезе Шаманского утеса и входит в состав мотской серии верхнего венда, включающей хужирскую, шаманскую и иркутскую свиты. Шаманская свита была сопоставлена с тирской свитой центральных частей Непско-Ботуобинской антеклизы [2; 4], вендский разрез которой включает (помимо тирской), еще и непскую и катангскую свиты. Песчаники тирской свиты являются продуктивными на нефть и газ.

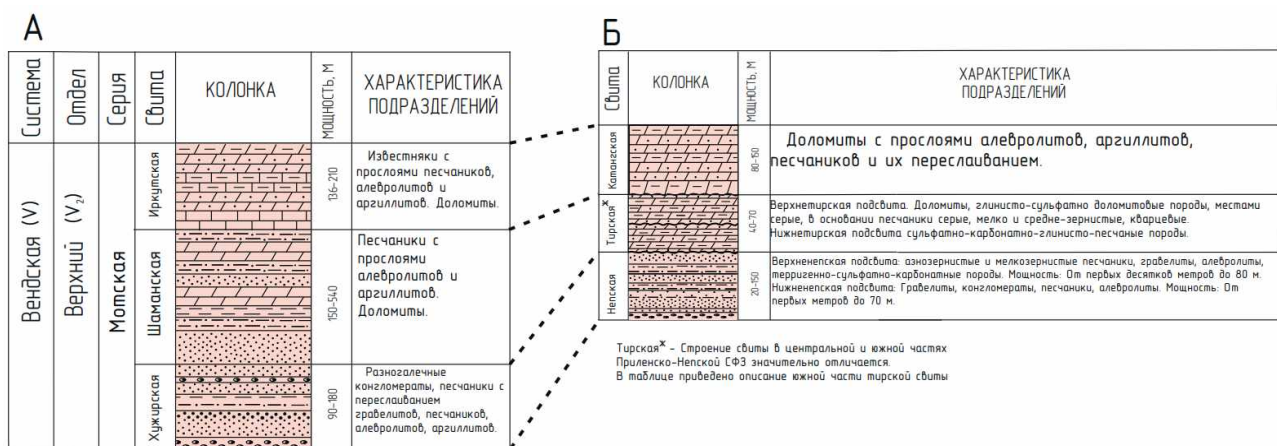
Согласно действующей стратиграфической схеме, непская и тирская свиты относятся к нерасчленённой толще вендской системы [5], что позволяет сопоставлять их со свитами мотской серии Шаманского утеса, примерно аналогичными по возрасту [4]. По нашему мнению, непскую свиту можно сопоставить с хужирской свитой, тирскую свиту – с шаманской свитой, а иркутскую свиту – с катангской свитой (рис. 2).

В результате литолого-фациального сравнения и описания фациальных зон трех свит мотской серии Шаманского утеса и выступающих в качестве их аналогов свит Непско-Ботуобинской антеклизы были сделаны следующие выводы.

Непская свита представляет собой фации переходной зоны (между континентальной и морской). Это подтверждается разнообразием пород – от гравелитов и песчаников до алевролитов и аргиллитов. Хужирская свита, сложенная терригенными породами, включая песчаники и конгломераты, также относится к переходной фациальной зоне и была сформирована в условиях перехода от континентальных к морским фациям.

Тирская свита включает элементы как мелководно-морских, так и переходных фациальных зон. Нижнетирская подсвита содержит алевролиты и доломиты, характерные для мелководных условий, тогда как верхнетирская подсвита включает более карбонатные и карбонатно-глинистые породы, свидетельствующие о переходе к более глубоководным условиям. Шаманская свита относится к мелководно-морской фациальной зоне. Наличие ритмичных трансгрессивных последовательностей песчаников, алевролитов и доломитов указывает на осадконакопление в условиях приливно-отливного побережья. Сравнивая эти данные, можно сказать, что обе свиты относятся к мелководно-морским условиям, но тирская свита показывает более выраженный переход к условиям переходной зоны по сравнению с шаманской свитой. Это свидетельствует о возможных незначительных различиях в палеогеографической обстановке между этими свитами.

Катангская свита также относится к мелководно-морской фациальной зоне, что подтверждается её составом: частое чередование аргиллитов и доломитов. Осадконакопление происходило в условиях спокойного шельфа, что характерно для мелководно-морской среды. Иркутская свита была сформирована в сходных обстановках. Эта свита состоит преимущественно из долами-



**Рис. 2. Схема корреляции вендских отложений внешнего и внутреннего районов чехла Сибирской платформы, по представлениям авторов (источники – в скобках)**

А – терригенные отложения Шаманского утеса Присаянского района Иркутской зоны [1; 3], Б – терригенные отложения катангской, тирской и непеской свит Прилененко-Непеской зоны [2; 4]

тов и аргиллитов, которые указывают на осадконакопление в условиях мелководного морского бассейна повышенной солености.

Тирская и шаманская свиты различаются по фациям, мощности, литологии и наличию продуктивных горизонтов. Шаманская свита разделена на нижнюю и верхнюю части без значительных перерывов, накопление осадков этой свиты происходило преимущественно в переходной зоне с эпизодически возникающими обстановками мелкого моря. Тирская свита состоит из двух подсвит: нижнетирской и верхнетирской, состав пород изменяется от переходных фаций в нижней части к мелководно-морским в верхней. Она менее мощная, имеет выраженную карбонатную составляющую в верхней подсвите и включает парфеновский и верхнетирский продуктивные горизонты.

Сравнительное изучение данных шаманской и тирской свит в вендских отложениях Сибирской платформы позволило выявить незначительные литолого-фациальные различия и общие черты в строении их разрезов. Обе свиты формировались в схожих палеогеографических обстановках. Тирская свита оказалась перекрытой сверху мощной толщей соленосных отложений, что привело к повышенному литостатическому давлению. Однако можно предполагать, что по коллекторским свойствам терригенные отложения шаманской и тирской свит похожи. Это дает основание для более внимательного изучения коллекторских свойств шаманской свиты и одновозрастных отложений в направлении от Шаманского утеса к центральной части Непско-Ботубинской антеклизы, что возможно по результатам исследования пробуренных вдоль этой трассы скважин.

Для нефтяной геологии Сибирской платформы это сравнение имеет важное значение, т. к. позволяет лучше понимать пространственную и стратиграфическую структуру осадочных комплексов, что влияет на прогнозирование и поиск потенциальных залежей углеводородов. Сопоставление этих свит обеспечивает более точную оценку перспектив нефтегазоносности различных районов платформы.

### Литература

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Восточно-Саянская. Масштаб 1 : 200 000. Серия Восточно-Саянская. Лист N-48-XXXII: Объяснительная записка. – М. : МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 186 с.
2. Бобкова Е. В. Особенности осадконакопления и перспективы нефтегазоносности парфеновского горизонта на территории центральной части Ангаро-Ленской нефтегазоносной провинции // Геология нефти и газа. – 2016. – № 6. – С. 46–51.

3. Мотова З. Л., Плюснин А. В., Никулин Е. В. Литолого-фациальные особенности, вещественный состав и условия седиментации терригенно-карбонатных пород мотской серии («Шаманский утес», Иркутское Присяянье) // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2021. – Vol. 12, iss. 3. – P. 628–644.

4. Плюснин А. В. Состав и условия формирования вендских терригенно-карбонатных толщ юга Непско-Ботуобинской антеклизы // Канд. дисс. – Иркутск : ФГБУ ИЗК СО РАН, 2022. – 122 с.

5. Решения Четвертого межведомственного регионального совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. – Новосибирск : СНИИГТИМС, 1989. – С. 40.

## ЗОНАЛЬНЫЕ ВИДЫ ДИСПЕРСНЫХ МИОСПОР ИЗ ТРИАСА ЮЖНО-БАРЕНЦЕВСКОЙ ВПАДИНЫ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ШЕЛЬФА

В. А. Четверова

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, [Valentina\\_Chetverova@karpinskyinstitute.ru](mailto:Valentina_Chetverova@karpinskyinstitute.ru)*

Отложения триаса Баренцевоморского региона представляют огромный интерес для исследователей, несмотря на значительную сложность их расчленения и корреляции. Определение возраста триасовых отложений прибрежно-морского генезиса, практически лишенных фауны, основывается на палинологических данных.

Палиностратиграфические исследования Баренцевоморского региона проводились не только российскими, но и норвежскими специалистами [4; 7; 12], в результате была составлена стратиграфическая схема триасовых отложений Шпицбергена и Баренцевоморского шельфа территории Норвегии с выделением палинологических зон. Автору данной статьи удалось выделить палинологические зоны в триасовых отложениях Мурманских скважин и сопоставить их с уже имеющимися палинозоны на норвежской части Баренцевоморского шельфа. Существенно дополнились уже имеющиеся многолетние данные по палиностратиграфии триасовых отложений Баренцевоморского региона (рис. 1–3).

Выделенная в нижней части сероцветной толщи с углями в разрезах скважин Мурманского газового месторождения палинозона *Leschikisporis aduncus* – *Echinitosporites iliacoides* хорошо коррелируется с палинологической зоной *Echinitosporites iliacoides* из отложений ладина Баренцевоморского шельфа, что подтверждается сходством палинокомплексов этих зон и присутствием общих видов пыльцы и вида *Echinitosporites iliacoides*, руководящего для отложений ладинского возраста норвежской части Баренцевоморского шельфа [12]. По нему дается и название палинозоны. Это дает основание полагать, что палинозона *Leschikisporis aduncus* – *Echinitosporites iliacoides* может быть прослежена не только на изученной Мурманской площади, но и в норвежской части Баренцевоморского шельфа. На Мурманской площади данная палинозона характеризуется также доминированием спор *Leschikisporis aduncus*.

Установленная в верхней части сероцветной толщи с углями в разрезе скважин Мурманские палинозона *Dictyophyllidites* sP. – *Zebrasporites interscriptus* коррелируется с палинозоной *Limboisporites lundbladii* из отложений норвежской части Баренцевоморского шельфа, что подтверждается сходством палинокомплексов этих зон и присутствием общих видов спор и пыльцы, а также присутствием динофлагеллят. Однако первое нахождение вида-индекса *Limboisporites lundbladii* Nilsson норвежской палинозоны норвежской площади отмечено несколько ниже по разрезу – с интервала ладинского яруса. На Мурманской площади данная палинозона характеризуется доминированием спор *Dictyophyllidites* sP.

Антетурма **Proximegerminantes** Potonie, 1970

Турма **Monoletes** (Ibrahim, 1933) Potonie et Kremp, 1954

Супрасубтурма **Acavatomonoletes** Dettmann, 1963

Субтурма **Azonomonoletes** (Luber, 1935) Potonie et Kremp, 1956

Инфратурма *Laevigatomoleti* Dybova and Jachowicz, 1957

*Leschikisporis aduncus* (Leschik, 1955) Potonié, 1958

*Punctatosporites aduncus* Lesch. – Leschik, 1955, s. 27, taf. 3, fig. 16, 17.

*Leschikisporis aduncus* (Lesch.) Pot. – Potonie, 1958, s. 18, pl. 1, fig. 9; Bhardwaj et Singh, 1963, p. 35, pl. 3, fig. 67–69; Madler, 1964, s. 102, taf. 9, fig. 4–7; Pautsch, 1971, p. 20, pl. 4, fig. 2, 3; Bjaerke et Manum, 1977, p. 38; Orłowska-Zwolinska, 1983, p. 21, tabl. 11, fig. 8–10; Vigran et al., 2014, pl. 32, fig. J.

**Описание.** Споры однолучевые, акаватные, азонатные, округлого либо широкого овального очертания с чуть выпуклой дистальной стороной. Однолучевая щель разверзания простая, прямая или слабоизогнутая всегда четко просматривается и составляет 2/3 длины диаметра споры. Экзина толстая. Скульптура отсутствует. Орнаментация отсутствует. Контур спор ровный. Цвет спор – желтый или светло-коричневый.

Размер: 43–42 × 36–42 мкм.

**Сравнение.** По отсутствию скульптуры описываемый вид близок к спорам рода *Laevigatosporites*, но отличается от них более округлым очертанием и более толстой экзиной. От однолучевых спор родов *Punctatosporites* и *Polipodiisporites* данный вид отличается отсутствием скульптурных элементов.

**Замечания.** Наличие намечающегося третьего луча отмечается автором в диагнозе вида. Мнения на счёт его происхождения у многих авторов расходятся: или же он возникает в результате трещины при смятии споры с однолучевой щелью разверзания [5] или же – за счёт частичной редукции одного луча у спор данного вида, но с трехлучевой щелью разверзания [8]. В нашем материале очень редко встречаются экземпляры описываемого вида с наличием зарождающегося третьего луча.

**Распространение.** Триас средний – триас верхний; Баренцевоморский шельф России и Норвегии; триас верхний, рэтский ярус, о. Надежда, арх. Шпицберген; триас верхний, Польша; Австрия.

**Местонахождение.** Баренцевоморский шельф, Южно-Баренцевская впадина, Мурманская площадь, нижняя часть сероцветной толщи – сероцветная толща с углями, скв. 26, гл. 2960, 2940, 2822, 2704, 2600, 2565, 2544–2550.1, 2520, 2440, 2400, 2320, 2200, 2160, 2120, 2060, 2000, 1962 м; пестро-сероцветная толща – нижняя часть сероцветной толщи, скв. 27, гл. 3584–3585.8, 3052, 2690–2691.1 м; нижняя часть сероцветной толщи – нижняя часть сероцветной толщи с углями, скв. 28, гл. 2841–2841.65, 2779.65–2782.05, 2593–2596.4, 2546–2549.6, 2486–2487.3, 2464–2467.3, 2395–2397.35, 2340–2343.4 м.

**Материал:** более 200 экз. в основном хорошей сохранности.

Инфратурма *Sculptatomoleti* Dybova et Jachowicz, 1957

*Echinitosporites iliacoides* Schulz et Krutzsch, 1961

*Echinitosporites iliacoides* Schulz et Krut. – Schulz et Krutzsch, 1961, s. 122, taf. 18, fig. 1–20; Pautsch, 1971, p. 2, pl. 4, fig. 4; Orłowska-Zwolinska, 1983, p. 22, tabl. 11, fig. 1–2; Vigran et al., 2014, pl. 18, fig. D, pl. 23, fig. A.

**Описание.** Споры однолучевые, акаватные, азонатные, округлого очертания. Однолучевая щель разверзания простая, асимметрично расположена на проксимальной стороне споры, плохо различима. Экзина средней толщины. Скульптурные элементы в виде столбиков, прямых и изогнутых, чаще с плоскими или слегка закругленными вершинами и сужающимся основанием, расположенных равномерно и густо на дистальной стороне и отсутствующих на проксимальной поверхности споры вблизи однолучевой щели разверзания. Высота столбиков – 8 мкм, ширина – 4 мкм. Контур споры неровный из-за выступающих скульптурных элементов. Цвет споры – желтый.

Размер: 33–40 мкм.



Рис. 1. *Leschikisporis aduncus* (Leschik, 1955) Potonié, 1958 (при увеличении ×500).

**Сравнение.** От однолучевых спор родов *Punctatosporites* и *Polipodiisporites* описываемый вид отличается бакулятной скульптурой. От спор вида *Leschikisporis aduncus* (Lesch., 1955) Pot., 1958, встреченных совместно, рассматриваемый вид отличается наличием скульптуры.

**Замечания.** По мнению авторов вида [11], проксимальная сторона спор *Echinitosporites iliacoides* имеет точечную орнаментацию вблизи асимметрично расположенной однолучевой щели разверзания. Экземпляры, найденные в триасовых отложениях на Мурманской площади Баренцево-морского шельфа, не позволяют чётко различить скульптуру проксимальной стороны спор и наличие на ней однолучевой щели разверзания ввиду плохой сохранности спор. Скульптура дистальной стороны спор вида *Echinitosporites iliacoides* Schulz et Krutzsch, 1961 очень характерна (столбики большого размера, чаще всего с плоскими вершинами), что позволяет определить этот вид даже по смятым экземплярам. Употребление в работе Vigran et. al. [12, С. 258] вида *Echinitosporites iliacoides* Schulz et Krutzsch, 1961 в качестве пыльцевого таксона, по-видимому, ошибочно.

**Распространение.** Триас средний, ладинский ярус – триас верхний, карнийский ярус, Баренцево-морский шельф России и Норвегии; триас верхний, Польша; триас верхний, Германия.

**Местонахождение.** Баренцево-морский шельф, Южно-Баренцевская впадина, Мурманская площадь, верхняя часть сероцветной толщи – сероцветная толща с углями, скв. 26, гл. 2520, 2400, 2200, 2000, 1962 м; скв. 28, гл. 2464–2467,3, 2340–2343,4 м.

**Материал:** 11 экз. плохой сохранности.

Турма **Triletes** (Reinsch, 1881) Potonie et Kremp, 1954

Супрасубтурма **Acavatitriletes** Dettmann, 1963

Субтурма **Zonotriletes** (Waltz, 1935) Potonie et Kremp, 1954

Инфратурма **Tricrassati** Dettmann, 1963

**Zebrasporites interscriptus** (Thiergart, 1949) Klaus, 1960

*Sporites interscriptus* Thiergart – Thiergart, 1949, s. 13, taf. 2, fig. 9.

*Zebrasporites interscriptus* (Thiergart) Klaus – Klaus, 1960, s. 139; Schulz, 1967, p. 589, tabl. XV, fig. 8, 9; Bjaerke and Manum, 1977, p. 33, pl. 3, fig. 11; Orłowska-Zwolinska, 1983, p. 16, tabl. 13, fig. 8, 9; Vigran et al., 2014, pl. 8, fig. G, pl. 32, fig. I.

**Описание.** Споры трехлучевые акаватные, зонатные, треугольного или округло-треугольного очертания, с широкой зоной в виде короны, состоящей из грубо рассеченных волосоподобных отдельностей, иногда частично слитных, на теле споры переходящих в морщинки, направленные к центру споры. Высота волосоподобных отдельностей уменьшается от межрадиальных участков к радиальным. Тело споры треугольного очертания с прямыми или чуть вогнутыми сторонами и закругленными углами. Щель разверзания простая, лучи щели длиной почти в радиус споры. Экзина средней толщины. Контур спор неровный из-за наличия короны. Цвет спор жёлтый или светло-коричневый.

Размер: 40 × 30 мкм.

**Сравнение:** От всех видов рода *Zebrasporites* описываемый вид отличается наличием зоны в виде короны, характером скульптуры и очертанием

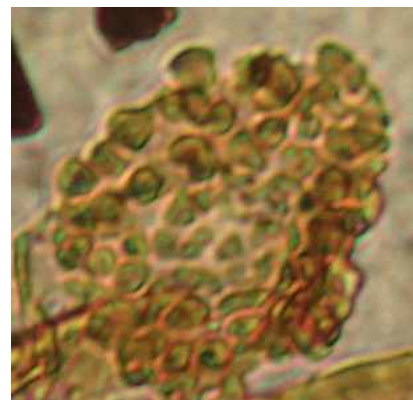


Рис. 2. *Echinitosporites iliacoides* Schulz et Krutzsch, 1961 (при увеличении ×500).



Рис. 3. *Zebrasporites interscriptus* (Thiergart, 1949) Klaus, 1960 (при увеличении ×500).

тела споры. От вида *Z. corneolus* (Lesch., 1955) Kl., 1960 данный вид отличается также большим размером, а от вида *Z. fimbriatus* Kl., 1960 – меньшим размером (почти в 2 раза) и толщиной экзины. От вида *Z. kahleri* Kl., 1960 он отличается также характером щели разверзания, а от вида *Z. laevigatus* (Schulz, 1962) Schulz, 1967 – наличием скульптуры.

**Распространение.** Триас верхний, Баренцевоморский шельф России и Норвегии, триас верхний – юра нижняя, Германия; триас верхний, карнийский ярус – юра нижняя, Австрия; триас верхний, Польша.

**Местонахождение.** Баренцевоморский шельф, Южно-Баренцевская впадина, Мурманская площадь, скв. 26, гл. 2160, 2000, 1962 м.

**Материал.** 3 экз. хорошей сохранности.

### Литература

1. Ошуркова М. В. Морфология, классификация и описание форм-родов миоспор позднего палеозоя. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2003. – 377 с.
2. Ошуркова М. В. О принципе выделения и наименования биостратиграфических зон по палинологическим данным // Материалы XI Всероссийской палинологической конференции «Палинология: теория и практика». – М. : АРЕС, 2005. – С. 191–192.
3. Фефилова Л. А. Распределение миоспор в триасовых отложениях Баренцева моря и его островного обрамления (архипелаг Земля Франца-Иосифа, Новая Земля, остров Колгуев) // Материалы по биостратиграфии, фауне и флоре фанерозоя полярных областей. – СПб. : ВНИИОкеангеология, 2003. – 130 с.
4. Hochuli P. A., Colin J. O., Vigran J. Os. Triassic biostratigraphy of the Barents Sea area // Correlation in Hydrocarbon Exploration. – 1989. – P. 131–153.
5. Mädler K. Die geologische Verbreitung von Sporen und Pollen in der Deutschen Trias // Beihefte zum Geologischen Jahrbuch. – 1964. – Vol. 65. – S. 1–147.
6. Klaus W. Sporen der kamischen Stufe der ostalpinen Trias // Jahrb. geol. Bundesant. – 1960. – S.-Bd. 5. – S. 107–184.
7. Mangerud G. Palinostratigraphy of the Permian and lowermost Triassic succession, Finenmark Platform, Barents Sea // Review of Paleobotany and Palynology. – 1994. – Vol. 82. – Pp. 317–349.
8. Potonie R. Synopsis der Gattungen der Spores dispersae. II, Teil: Sporites (Nachtrage), Saccites, Aletes, Praecolpates, Polyplacates, Monocolpates // Beihefte zum Geologischen Jahrbuch. – 1958. – Bd. 31. – S. 1–114.
9. Potonie R., Kremp G. Die Gattungen der paläozoischen Sporea dispersae und ihre Stratigraphie // Geologisches Jahrbuch. – 1954. – Bd. 69. – S. 111–194.
10. Potonie R., Kremp G. Die Spora dispersae des Ruhrkarbons ihre morphographie und stratigraphie mit ausblicken auf Arten anderer Gebiete und Zeitabschnitte: Teil I, II, III // Palaeontogr. Abt. B. – 1955–1956. – Bd. 98–100. – S. 1–136; S. 85–191; S. 65–121.
11. Schulz E., Krutzsch W. Echinitorites iliacooides nov. f. gen. et fsp., eine neue Sporenform aus dem Keuper der Niederlausitz // Geologie Jhg. – 1961. – Bd. 10, beih. 32. – S. 122–127.
12. Vigran J. O., Mangerud G., Mørk A. et al. Palynology and geology of the Triassic succession of Svalbard and the Barents Sea // Geological Survey of Norway Special Publication. – 2014. – Vol. 14. – P. 1–269.

## РАННЕМЕЛОВЫЕ АММОНИТЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ОБРАМЛЕНИЯ ТИХОГО ОКЕАНА И ИХ СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

В. А. Шамаков<sup>1,2</sup>, Е. А. Языкова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Опольский Университет, Ополье, Польша, viktor\_shamakov@karpinskyinstitute.ru

Позднемеловые комплексы аммонитовой фауны северо-западного обрамления Тихого океана отличаются от предшественников не только видовым составом, но и некоторыми морфологическими особенностями. Значительные изменения в составе аммонитовой фауны происходили в период от границы апта–альба до границы сеномана–турона.

Эти два пограничных уровня обозначили важные биологические события для множества морских организмов, включая аммоноидеи. Эволюционные аспекты, наблюдаемые в разных частях мира, часто обсуждаются при рассмотрении деления мелового периода. В некоторых случаях альб-сеноманский интервал может использоваться как данные для «среднего мела» [12].





Районы отбора материалов

Аммоноидеи представляют собой ортостратиграфическую группу организмов, позволяющую устанавливать относительный возраст осадочных пород. Их роль в стратиграфии невозможно переоценить. Быстрая эволюция, обширное распространение и частое присутствие этих организмов в различных слоях делают их незаменимыми для создания зональных шкал значительных возрастных интервалов фанерозоя. Помимо практического применения в качестве надежных индикаторов геологического возраста отложений, остатки аммоноидей привлекают внимание палеонтологов как предмет для теоретических исследований [1]. Среди беспозвоночных сложно найти другую группу, изучая раковины которой, можно было бы проследить все этапы индивидуального развития и восстановить историю каждой эволюционной линии. Поэтому на основе этой группы делают зональные стратиграфические шкалы.

В этой работе основное внимание уделяется изучению эволюции и распространения некоторых видов аммонитов альб-сеноманской фауны в Тихом океане, а также особенностям этих ярусов.

Тихоокеанская фауна в меловом периоде обладала высокой степенью эндемизма, что усложняет определение возраста, биостратиграфию и корреляцию. Однако и здесь, как и в других частях мира, можно выделить событийные уровни, такие как изменения фаунистических комплексов, радиационные и миграционные события, а также вымирание и появление новых видов, включая аммонитов, которые являются важной стратиграфической группой [13; 15]. Данные, собранные с российского побережья Тихого океана, подтверждаются информацией из соседних районов восточной и западной частей Тихого океана, что позволяет провести биостратиграфическую и событийную корреляцию.

Исследования основаны на материале, собранном в многочисленных точках Тихоокеанского побережья России (рисунок) в течение более 70 лет разными учеными: Б. Н. Елисеев (1934), Т. В. Хватов (1935), А. И. Пулькина (1951), А. Ф. Михайлов (1955), Анкудинов (1955, 1964), В. А. Китаев (1955), К. С. Агеев (1956), В. Т. Тарасенко (1957), Закржевский (1958), Г. А. Кибанов (1958), И. М. Мигович (1958, 1972), В. Н. Верещагин (1958), И. М. Русаков (1959), В. Ф. Белый (1959), Л. И. Тихомиров (1960), В. П. Похиалайнен (1961, 1962, 1964), С. Ю. Воронков (1962), Н. В. Смирнов (1970), Б. Н. Устинов (1971), Т. Д. Зонова (1972, 1973), Ю. Г. Миролубов (1975, 1974), А. С. Шуваев (1972), А. Б. Цукерник и др.

Изученные экземпляры аммонитов хранятся в ЦНИГР Музее в Санкт-Петербурге (номера коллекций: 130088 и 13237). Всего изучено 350 образцов.

В исследовании использованы материалы из предыдущих публикаций. Обзор включает все данные по альб-сеноманскому интервалу, собранные с Тихоокеанского побережья России, включая горы Сихотэ-Алинь, долину р. Амур, о. Сахалин, Корякское нагорье и побережье Пенжинского залива, а также прилегающих территорий, таких как Япония, Калифорния и другие регионы. Для проведения сравнительного анализа также изучено географическое распространение тихоокеанских аммонитов в других частях мира.

Нижнемеловые отложения широко распространены в тихоокеанских регионах России, их мощность варьируется от 700 до 1000 м. Они хорошо изучены благодаря фаунистиче-

ским остаткам аммоноидей и иноцерамид, а также других двустворчатых моллюсков, гастропод и брахиопод [2; 3; 7; 9; 13; 14]. Аптская фауна хорошо известна на северных территориях, таких как побережье Пенжинского залива, Корякское нагорье и Сихотэ-Алинь, однако на Сахалине самые древние меловые отложения представлены верхним альбом [9], (Зонова и др., 1995). Сеноманские отложения представлены на всей территории Дальнего Востока и согласно перекрывают альб. В предыдущих работах уже были описаны некоторые представители раннемеловой биоты Сахалина [5; 9], а также раннемеловая фауна северо-восточных районов Тихоокеанского побережья России и Приамурья, включая Сихотэ-Алинь и Приморье [6; 10; 11].

В альбских отложениях указанных регионов было выявлено более 33 таксонов. В это время продолжается трансгрессия, начавшаяся еще в валанжинском веке, и температурный максимум, который составил 12,5–21,6 °С, приходится на ранний альб [4]. Это привело к увеличению биоразнообразия и появлению космополитных форм [13]. В альбском веке сохранялись связи между Тихоокеанской палеобиогеографической областью и океаном Тетис, что способствовало миграциям аммоноидей. Однако на границе альб–сеноман произошел разрыв этих связей из-за кратковременной регрессии и активных тектонических изменений [8]. Позднеальбские аммонитовые комплексы Сахалина, Приморья и Сихотэ-Алиня начали заметно отличаться от комплексов северо-восточных регионов Тихоокеанского побережья России (Пенжинская Губа, Корякия). Эти моря были относительно мелководными и характеризовались бедными таксономическими комплексами аммоноидей, что привело к смене фаунистических комплексов на границе альб–сеноман [13].

Изученная коллекция включает различные виды *Marshallites*, *Eogunnarites*, *Neogastroplices*, которые имеют «арктический» характер распространения. В сеноманском ярусе некоторые из этих «арктических» видов широко распространились на Сахалине, Северо-Востоке России и в Японии. В коллекции представлены четыре семейства, тогда как в альбском ярусе в этом обширном регионе было зафиксировано 14 семейств аммоноидей, а в сеноманском ярусе – 44 таксона из 8 семейств. В целом в сеноманский ярус таксономический состав обновился, но к его концу разнообразие начало снижаться. Промежуток от альба до сеномана отличается у аммонитов как по таксономическому составу, так и по морфологии раковин. Наблюдается тенденция плавного перехода эволюционных линий от альбских аммонитов к сеноманским, в то время как туронский ярус представляет собой совершенно новый комплекс ископаемых как по морфотипам, так и по таксономии.

По мнению П. Бенгтсона и М. В. Какабадзе [12], ключевое событие в эволюции аммонитов на уровне семейств и родов произошло в конце апта и начале альба (в пограничном интервале). Это позволяет обосновать размещение нижней границы «среднемеловой» серии в основании альбского яруса.

Аммоноидеи очень важны для стратиграфии осадочных пород мелового периода. В более поздних слоях мела столь значительные события не выявлены, за исключением пограничного интервала между сеноманом и туроном, который мог бы служить верхней границей «среднего мела». Наши исследования подтверждают, что альб–сеноман отличался в эволюции аммоноидей по сравнению с более ранними или поздними этапами. Это может быть аргументом в пользу трехчастного деления меловой системы, хотя для того, чтобы предложить трехчастное деление мелового периода, необходимо объединить данные о фауне с информацией о различных хроностратиграфически значимых группах ископаемых, таких как аммониты, иноцерамиды, фораминиферы, наннофоссилии и динофлагелляты, а также с данными магнитной, событийной и секвентной стратиграфии.

## Литература

1. Вавилов М. Н., Аркадьев В. В. Аммоноидеи – важнейшая ортостратиграфическая группа ископаемой фауны (Методика определения и изучения) – СПб., 2000. – 75 с.
2. Верещагин В. Н. Меловая система Дальнего Востока // Труды ВСЕГЕИ. Нов. Сер. – 1977. – Т. 242 – 207 с.
3. Верещагин В. Н., Кинасов В. П., Паракецов К. В. и др. Полевой атлас меловой фауны Северо-Востока СССР. – Магадан : Магаданское книжное издательство, 1965. – 215 с.

4. Захаров Ю. Д., Соколова О. П., Смышляева О. П. и др. Новые данные по изотопам кислорода и углерода органогенных карбонатов и проблема низких изотопных палеотемператур тропиков в маастрихте // Тихоокеанская геология. – 2004. – Т. 23, вып. 4. – С. 54–72.
5. Зонова Т. Д., Богданова Т. Н., Сальникова Н. Б. О новых находках раннемеловых аммонитов с острова Сахалин / Ред. И. М. Колобова, Л. И. Хазацкий // Ежегодник Всесоюзного палеонтологического общества. – 1986. – Вып. XXIX. – С. 139–148.
6. Зонова Т. Д., Языкова Е. А. Слои с *Tetragonites duvalianus* на Сихотэ-Алине // Тихоокеанская геология. – 2000. – Т. 19, № 3. – С. 12–17.
7. Зонова Т. Д., Казинцова Л. И., Языкова Е. А. Атлас руководящих групп меловой фауны Сахалина. – СПб. : Недра., 1993 – 327 с.
8. Кириллова Г. Л. Мел Дальнего Востока России: седиментация, геодинамика, биоразнообразие и климат. – Владивосток : Дальнаука, 2000. – 94 с.
9. Пояркова З. П. Опорный разрез меловых отложений Сахалина (Найбинский разрез) // АН СССР, Мингео СССР, Межведомств. стратиграф. комитет СССР, Труды. – Л. : Наука, 1987. – Т. 16. – 196 с.
10. Сей И. И., Окунева Т. М., Зонова Т. Д. и др. Атлас мезозойской морской фауны Дальнего Востока России. – СПб. : ВСЕГЕИ Пресс, 2004. – 234 с.
11. Языкова Е. А. Некоторые раннемеловые аммониты Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. – 2001. – Т. 20, № 1. – С. 100–106.
12. Bengtson P., Kakabadze M. V. Ammonites and the mid-Cretaceous saga // Cretaceous Research. – 2018. – Vol. 88. – P. 90–99.
13. Jagt-Yazykova E. A. Palaeobiogeographical and palaeobiological aspects of mid- and Late Cretaceous ammonite evolution and bio-events in the Russian Pacific // Scripta Geologica. – 2011. – Vol. 143. – P. 15–121.
14. Jagt-Yazykova E. A. Ammonite faunal dynamics across bio-events during the mid- and Late Cretaceous along the Russian Pacific coast // Acta Palaeontologica Polonica. – 2012. – Vol. 57, no. 4. – P. 737–748.
15. Yazykova E. A. Ammonite biozonation and litho-/chronostratigraphy of the Cretaceous in Sakhalin and adjacent territories of Far East Russia // Acta Geologica Polonica. – 2004. – Vol. 54, no. 2. – P. 273–312.

## **ВЕРХНЯЯ ВОЗРАСТНАЯ ГРАНИЦА ОСАДОЧНО-ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД КИРИЧСКОЙ СВИТЫ (НИЖНИЙ ПРОТЕРОЗОЙ, ВЕТРЕННЫЙ ПОЯС)**

С. В. Межеловская<sup>1</sup>, К. Г. Ерофеева<sup>1</sup>, А. Д. Межеловский<sup>2</sup>, К. И. Юшин<sup>1</sup>, А. С. Дубенский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Геологический институт Российской академии наук,  
Москва, Mezhelsofy@gmail.com*

<sup>2</sup>*Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва*

Палеопротерозойская структура Ветреный пояс расположена на юго-востоке Карельского кратона, ограничена Беломорским подвижным поясом на северо-востоке и архейскими структурами Карельской гранит-зеленокаменной области на юго-западе. В основании осадочно-вулканогенного комплекса Ветреного пояса с резким угловым несогласием залегают метатерригенные и метавулканогенные породы, расчленение которых различается, по мнению разных исследователей. По данным В. С. Куликова [7], на размытой поверхности архейских плагиигранитоидов залегают кварциты с прослоями гравелитов и конгломератов в основании, объединяемые в токшинскую свиту, которая относится к сумийскому надгоризонту палеопротерозоя. Нарращивают разрез метабазальты, метаандезибазальты с горизонтами туфов и туфопесчаников, а также сланцев по вулканитам. Согласно авторам объяснительных записок к Государственным геологическим картам разных поколений [3; 4; 6], преимущественно терригенная и вулканогенная часть разреза выделялась в ранге илекской толщи и была разделена на три пачки. По материалам Госгеолкарты масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение) (лист Р-(35), 36 – Петрозаводск) [6], отложения свиты относятся к верхнелопийско-сумийско-сариолийским нерасчлененным образованиям. Первые изотопно-геохронологические данные для кислых вулканических пород свиты, появившиеся в 1997 г., составили  $2437 \pm 3$  млн лет (U-Pb ID TIMS) [8]. После проведения геологического доизучения площади масштаба 1 : 200 000 (листы Р-37-IX; Р-37-XV) в 2017–2019 гг. были получены новые U-Pb возрасты циркона из этих пород, составившие 2440–2379 и 2767–2693 млн лет [4,3]. Таким образом, возраст свиты по-прежнему остается дискуссионным. Из андезибазальтов, по данным Ю. Б. Богданова и коллег [1], был получен U-Pb возраст по циркону (SRIMP-II), составивший 2751–2662 млн лет. Одна конкордантная оценка составила  $2704 \pm 10$  млн лет. В объяснительной записке к Государственной геологической карте Р-37 отложения киричской свиты относятся к верхнему лопию, гимольскому надгоризонту по аналогии с тунгудской и визаварской свитами в соседних структурах [5].

В зоне сочленения Водлозерского блока с палеопротерозойской структурой Ветреный пояс широко проявлен архейский гранитоидный магматизм, степень изученности которого носит фрагментарный характер. Здесь среди палеопротерозойских магматических комплексов преобладают интрузивные тела различных размеров и морфологии, преимущественно основного и ультраосновного составов. Особое внимание обращает на себя серия относительно небольших штокообразных тел диоритового состава, простирающихся в северо-западном направлении. Тела были закартированы как по обнажениям, так и по ряду скважин, а их площадная конфигурация определена при интерпретации геофизических данных. Согласно данным листов Госгеолкарты Р-37-I (Маленьга) и Р-37-VII (Сергиево) [2], в пределах Киричской структурно-формационной зоны установлено пять массивов, два из которых выходят на поверхность посреди архейских плагиогранитов и имеют с ними нормальные интрузивные или тектонические контакты; остальные приурочены к метаэффузивам (киричская свита) основного–среднего составов раннепротерозойского возраста. Постоянство их геохимического и вещественного составов позволяет объединить их в один комплекс. Возрастная принадлежность массивов, по данным листов Госгеолкарты Р-37-I (Маленьга) и Р-37-VII (Сергиево) [2], обусловлена секущими контактами с metabазальтами и андезибазальтами нижнего протерозоя, перекрывающими отложениями венда и установлена как палеопротерозойско-довендская. Однако, по данным листа Госгеолкарты Р-37 – Плесецк [5], возраст пород киричской свиты хоть и остается дискуссионным, но принимается за верхнелопийский, в связи с чем геологический возраст становления диоритов трактуется как аналогичный.

На территории Водлозерского национального парка было изучено интрузивное тело эллипсообразной в плане формы размером от 1,5 до 5,0 км. В обнажениях породы обладают среднекрупнозернистой структурой, массивной текстурой, не затронуты процессами расланцевания, в отличие от вмещающих их metabазальтов, превращенных в сланцы. Породы с гипидиоморфнозернистой структурой сложены плагиоклазом (50–60%), обыкновенной роговой обманкой (15–20%) и кварцем (10–15%), в подчиненном количестве присутствуют биотит и поздний эпидот. Из аксессуарных минералов встречаются циркон, сфен и ильменит. По минеральному и геохимическому составу породы относятся к кварцевым диоритам, содержат от 55 до 60 масс. %  $\text{SiO}_2$ , обогащены натрием ( $\text{Na}_2\text{O} = 3,2\text{--}4,6$  масс.%) при резко подчиненном содержании калия ( $\text{K}_2\text{O} = 0,9\text{--}1,06$  масс.%),  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 4,2\text{--}5,6$ . Индекс насыщения глиноземом  $\text{ASI} < 1$ , поэтому породы относятся к метаглиноземистым, являются умеренно магнезиальными ( $\text{Mg}\# = 0,45$ ) и в большинстве своем известковыми (щелочно-известковистый индекс  $\text{MALI} < 0 - \text{SiO}_2 = 55\text{--}60$ ).

С целью уточнения возраста интрузивных массивов была отобрана проба из кварцевых диоритов в районе горы Киричгора на территории Водлозерского национального парка. Монофракция выделенного циркона представлена призматическими зернами цирконового и гиацинтового типов с удлинением 1 : 2 и 1 : 4, средние размеры – от 180 до 250 мкм. В центральных частях зерен зональность отсутствует, по краям часто наблюдаются тонкие светлые зоны, параллельные граням кристаллов. Для 58 зерен были получены конкордантные значения U-Pb возраста, составившие  $2860 \pm 5$  млн лет. Таким образом, с учетом новых изотопных данных и при условии секущих соотношений кварцевых диоритов с вмещающими андезибазальтами, осадочно-вулканогенные породы киричской свиты следует относить к среднему лопию.

### Литература

1. Богданов Ю. Б., Анисимова С. А., Бережная Н. Г. Новые данные о возрасте вулканитов сумия Карелии // Стратиграфия докембрия: проблемы и пути решения. Материалы VIII Российской конференции по проблемам геологии докембрия. – СПб. : Свое издательство, 2023. – С. 22–25.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Карельская. Листы Р-37-I (Маленьга), Р-37-VII (Сергиево). Объяснительная записка. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. – 94 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Карельская. Лист Р-37-IX (Ундозеро). Объяснительная записка. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2023. – 102 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Карельская. Лист Р-37-XV (Поча). Объяснительная записка. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2023. – 133 с.

5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 100 000. Третье поколение. Серия Балтийская. Лист Р-37–Плесецк. Объяснительная записка. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2022. – 344 с.

6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Р-(35),36 – Петрозаводск. Объяснительная записка. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2015. – 400 с.

7. Куликов В. С. Ветренный пояс: тектоно- и петротип палеопротерозоя Юго-Восточной Фенноскандии / В. С. Куликов, В. В. Куликова, Я. В. Бычкова // Геология Карелии от архея до наших дней. Материалы докладов Всероссийской конференции, посвященной 50-летию Института геологии Карельского научного центра РАН. – Петрозаводск, 2011. – С. 91–103.

8. Puchtel I. S., Haase K. M., Hofmann A. W. et al. Petrology and geochemistry of crustally contaminated komatiitic basalts from the Vetreny Belt, southeastern Baltic Shield: evidence for an early Proterozoic mantle plume beneath rifted Archean continental lithosphere // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1997. – Vol. 61. – P. 1205–1222.

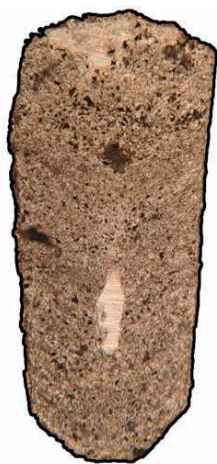
**VOLBORTHELLA TENUIS F. SCHMIDT (РАННИЙ КЕМБРИЙ)  
ИЗ КОЛЛЕКЦИИ А. П. КАРПИНСКОГО ЦНИГР МУЗЕЯ  
ИМ. Ф. Н. ЧЕРНЫШЕВА:  
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ  
РЕСУРСНОГО ЦЕНТРА СПБГУ**

Парфэ Реми Шарли Жан-Клод, Г. Н. Киселев

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, st98555@student.spbu.ru; g.kiselev@spbu.ru*

Представители раннекембрийского рода *Volborthella* относятся к группе древних организмов, систематическое положение которых все еще является дискуссионным. Таксоны данного рода исследовались многими специалистами в России, США, Северной Европе, Азии и включены в большинство мировых палеонтологических сводок [Основы палеонтологии СССР, 1962; *Treatise on Invertebrate paleontology*, 1964 и др.]. Они являются представителями древнейших скелетных организмов раннего кембрия с агглютинтированной раковиной – группой мелко-раковинной фауны палеозоя (SSF), и представляют интерес для решения вопросов эволюции скелетных форм фанерозоя.

Палеонтолог Александр Федорович фон Вольборт в 1860-х годах под Таллином в прослоях песчаника в глинах нижнего кембрия обнаружил небольшие раковины, состоящие из сцементированных песчано-глинистых частиц [8, С. 36]. Он не публиковал свои находки и только в 1869 г.



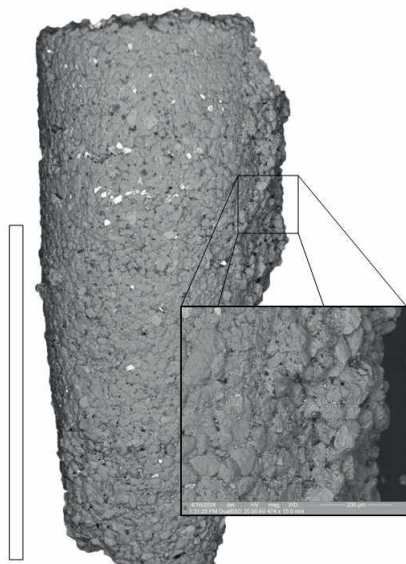
**Рис. 1. Продольный шлиф агглютинированной раковины *Volborthella tenuis* [Основы палеонтологии, 1962]**

В продольном D/Vсечении видны многочисленные чередования грубозернистых и мелкозернистых наслоений – псевдосепт. Фотографии сделаны с помощью светового микроскопа (объектив X4). Коллекция проф. З. Г. Балашова



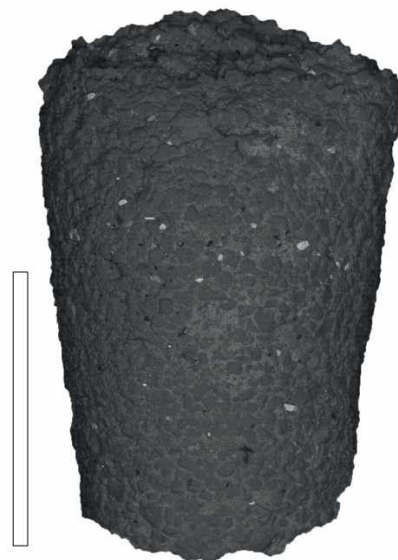
**Рис. 2. Плита аргиллита, вид сверху, образцы *Volborthella* хорошо сохранились и все они направлены в одну сторону**

Фотография без увеличения из коллекции ЦНИГР Музей им. Ф. Н. Чернышева, обр. № 55/10850



**Фиг. 3. *Volborthella tenuis* из голубых кембрийских глин нижнего кембрия побережья Балтийского моря (коллекция 193 ПМ СПбГУ проф. З. Г. Балашева)**

Сфотографировано с помощью прибора Quanta 200 3D, увеличение 40х, 474х.



**Фиг. 4. *Volborthella tenuis* из синих кембрийских глин нижнего кембрия побережья Балтийского моря (коллекция 193 ПМ СПбГУ проф. З. Г. Балашова).**

Сфотографировано с помощью прибора Quanta 200 3D, увеличение 40х

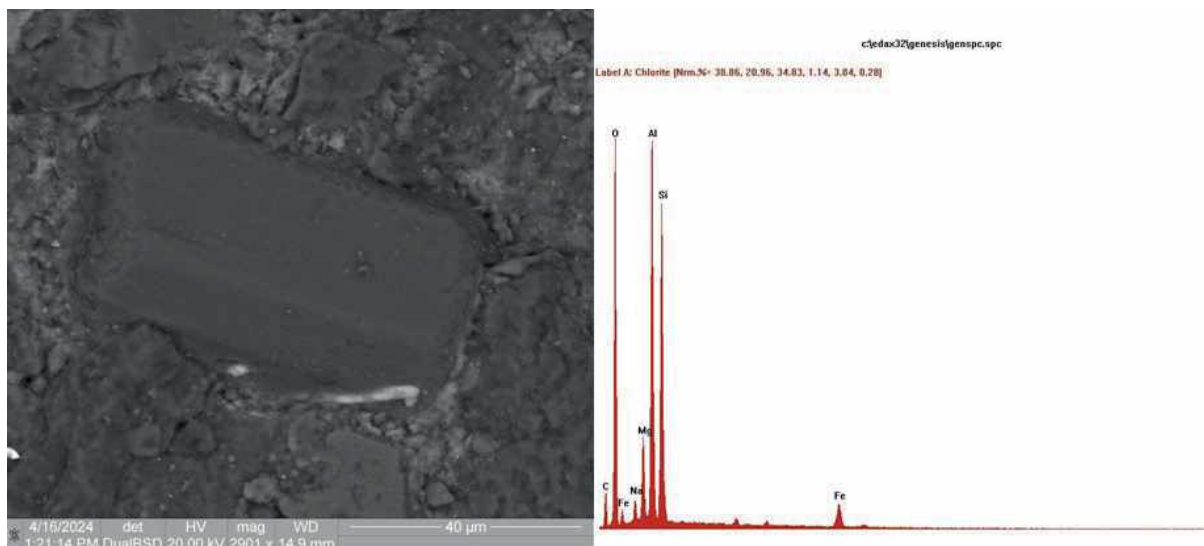
представил отчет о своих открытиях в Санкт-Петербургское минералогическое общество. Он предложил назвать эти окаменелости «палеонаутилитами» (см. Р. Ф. Геккер, 1928; С. 146–147). В 1888 г. палеонтолог Фридрих Шмидт описал эти окаменелости из слоев «синей» кембрийской глины, собранной под Таллином, как *Orthoceratites tenuis* Schmidt и с некоторым сомнением отнес их к представителям ортоцероидных головоногих моллюсков. В честь первооткрывателя он выделил новый род *Volborthella* Schmidt, 1888, который является валидным и включен во все международные и национальные палеонтологические сводки.

В 1903 г. академик А. П. Карпинский на основании переизучения коллекций Ф. Б. Шмидта и нового материала из нижнекембрийских отложений побережья Балтийского моря дал более подробное описание и привел внешнее изображение многочисленных экземпляров вида *Volborthella tenuis* Schmidt, который включил род в класс головоногих моллюсков (эта изученная нами коллекция хранится в ЦНИГР Музее под № 55/10850). Впоследствии резюме реферата Вольборта было опубликовано в 1928 г. Р. Ф. Геккером. В серии работ Шиндевольфа (Schindewolf, 1928, 1934, 1942) было дано подробное описание представителей рода *Volborthella* из нижнекембрийских отложений Балтики, высказаны предложения о систематическом положении этого рода и его соотношениях с другими таксонами головоногих моллюсков.

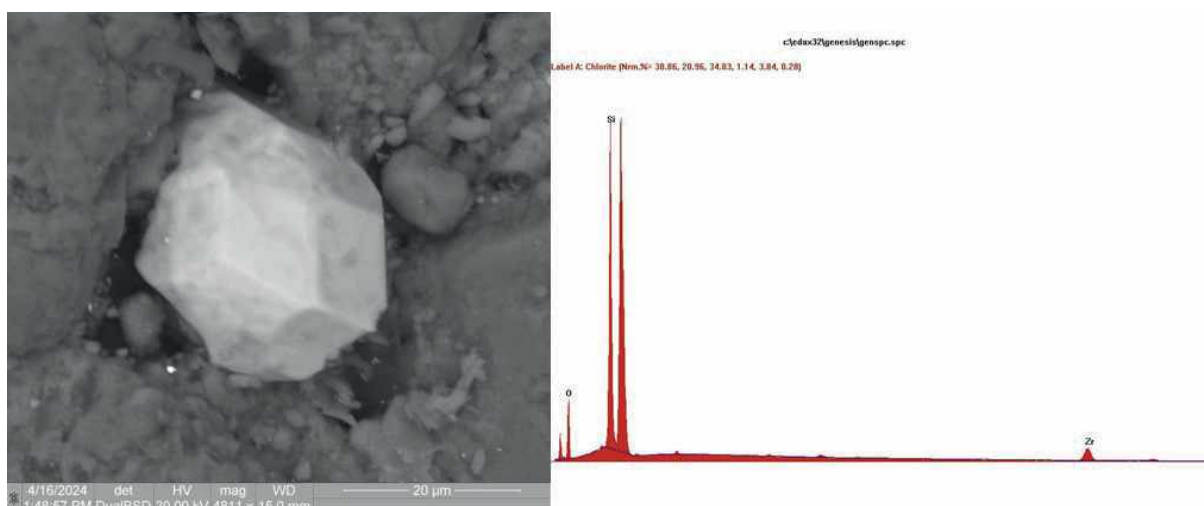
Детальное описание представителей *Volborthellida* дано З. Г. Балашовым при подготовке палеонтологической сводки «Основы палеонтологии. Справочник для палеонтологов и геологов СССР. Моллюски-головоногие 1» и в статье «О природе нижнекембрийского рода *Volborthella* Schmidt в сборнике «Вопросы палеонтологии. Том V».

Данный автор описал раннекембрийские *Volborthellida* в составе выделенного им нового отряда *Volborthellida*, состоящего из двух семейств *Volborthellidae* Balaschov, 1962, *Vologdinellidae* Balaschov, 1962. Данный отрядный таксон был описан как сомнительный в американской сводке “*Treatise Invertebrate Paleontology. Part K. Mollusca 3*”, 1964 (под редакцией Раймонда К. Мура), с. К485-487».

Указанные выше исследования вещественного состава и структуры агглютинированных раковин представителей рода *Volborthella* осуществлялись методами морфоструктурного анализа и оптической микроскопии. На данном этапе изучения структуры и состава скелета раковины



**Фиг 5.** Анализ образца на Фиг 8 с помощью сканирующего электронного микроскопа с экологическим контролем (Quanta 200 3D), график показывает (красные пики) присутствие элементов кремния, кислорода и алюминия, поэтому мы можем сделать вывод, что это минералы силиката алюминия  
Увеличение 2901x



**Фиг 6.** Анализ образца с помощью сканирующего электронного микроскопа с экологическим контролем (Quanta 200 3D), график показывает (красные пики) присутствие циркона  
Увеличение 4811x

*Volborthella* не существует единого мнения о систематическом положении этой группы фауны. Одни (наиболее многочисленная группа исследователей, в том числе, Schindewolf, 1928; Troedsson, 1931; Kobayashi, 1935; Sun 1937; Grabau, 1919; Schmidt H, 1930; Teichert, 1930; Strand, 1934; Ulrich, 1933) относили указанные таксоны к классу цефалопод. Другие (Spath, 1933; Miller, 1932; Gurich, 1934) отрицали их принадлежность к моллюскам и относили их к Pteropoda или к Protozoa.

В конце XX столетия появляются первые исследования вещественного состава этих раковин с применением растрового электронного микроскопа и электронно-зондового микроскопа (Yochelson E. L., 1983 “*Salterella* (early Cambrian, Agmata) from the Scottish Highlands. *Palaeontology*, 26, p. 253-260”; Rozanov, 1986, 1992).

Детальное изучение коллекции представителей рода *Volborthella* из синих глин Балтоскандии и близких форм кембрийского рода *Salterella* из североамериканских местонахождений было проведено в работе Е. Л. Йохельсона, Г. Н. Киселева [12], что привело к пересмотру

всей системы типа *Agmata*, выделенного ранее Йохельсоном и включению рода *Volborthella* в состав указанного типа. Нами продолжены данные исследования.

Было проведено исследование структуры, состава а также микроструктуры и микроанализ чередующихся наслоений в агглютинированных раковинах представителей *Volborthella tenuis Schmidt* из коллекций Ф. Шмидта и А. П. Карпинского, хранящихся в ЦНИГР Музее (Эстония, лонтовасская свита) и из керна скважин Литвы (коллекция З. Г. Балашова, 1966) (рис.1–6).

Исследования были проведены с применением приборной базы Ресурсного центра СПбГУ для изучения микроструктуры окаменелостей и состояния их сохранности. Результаты подобных исследований могут быть использованы также для определения минерализации, структуры и деталей строения скелета окаменелостей.

Были изучены коллекции *Volborthella* общей численностью 105 экз. из музейных коллекций Технологического университета в Таллине (Г. Н. Киселевым в 2013 г. и Парфэ Реми в 2024 г).

При подготовке работы использованы морфоструктурный, статистический и сопоставительный методы изучения окаменелостей. Всего было изучено 45 образцов *Volborthella* из музейных коллекций и 60 образцов на плитке песчаника из работы академика А. П. Карпинского (1903 г.). В Ресурсном центре СПбГУ исследовано 12 образцов, для сравнения приведены 15 фотоизображений из опубликованных работ разных авторов (см. список литературы). Вместе с тем многие вопросы о систематическом положении *Volborthella*, как и общие вопросы исследования SSF, все еще требуют дальнейшего изучения с использованием новейших физико-химических методов.

Исследование микроструктур и микроанализ состава внутреннего строения агглютинированных раковин раннекембрийских *Volborthella* подтверждает выводы Ю. Ехельсона и Г. Н. Киселева [12, с. 8–20] об отсутствии у изученного таксона стенки, перегородок карбонатного состава и сифонного канала, что позволяет включать рассматриваемый вид в состав типа *Agmata* в объеме семейства *Volborthellidae Balashov, 1962*.

### Литература

1. Балашов З. Г. О природе нижнекембрийского рода *Volborthella schmidt* // Вопросы палеонтологии. – 1966. – Т. 5. – С. 23–33.
2. Киселев Г. Н. К вопросу об онтогенезе и филогенезе ортоцероидных цефалопод // Вестник Ленинградского университета: Геология, география. Серия 7. – 1991. – С. 27–28.
3. Руженцев В. Е. Основы палеонтологии. Т. 5. Моллюски – головоногие. I. – М. : Изд-во Академии наук СССР, 1962. – С. 72.
4. Isakar M, Peel J. S. Lower Cambrian helcionelloid molluscs from Estonia // GFF. – 2007. – Vol. 129, pt. 3. – P. 255–262.
5. Karpinsky A. Über die eocambrische Cephalopodengattung *Volborthella* Schmidt // Zapiski Rossijskogo Mineralogicheskogo Obshchestva. – 1903. – Vol. 41. – P. 31–42.
6. Rosanov A. Yu. 1986. Problematica of the Early Cambrian / Eds. A. Hoffman, M. H. Nitecki // In Problematic Fossil Taxa, 87–96. Oxford University Press, Oxford.
7. Rozanov A. Yu. The Lower Cambrian fossil record of the Soviet Union / Eds. J. H. Lipps, P. W. Signor. – Origin and Early Evolution of the Metazoa: Plenum. – New York. – P. 205–282.
8. Schmidt F. R. Über eine neu entdeckte untercambrische Fauna in Estland // Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg. – 1888. – Vol. 36, no. – P. 1–28.
9. Schindewolf O. H. Ueber *Volborthella tenuis* SCHMIDT und die Stammes-geschichte der ältesten Cephalopoden // Zeitschr. Paleont, Berlin. – 1928. – Vol. 5. – P. 68–89.
10. Yochelson E. L., Henningsmoen G., Griffin W. L. The Early Cambrian Genus *Volborthella* in Southern Norway // Norsk Geologisk Tidsskrift 57. – 1977. – P. 133–151.
11. Yochelson E. L. *Agmata*, a proposed extinct phylum of early Cambrian age // Journal of Paleontology. – 1977. – Vol. 51. – P. 437–454.
12. Yochelson E. L., Kiselev G. N. Early Cambrian *Salterella* and *Volbortella* (Phylum *Agmata*) re-evaluated // Lethaia 36. – 2003. – P. 8–20.



ЭКОЛОГИЯ БОЛЬШИХ ГОРОДОВ И  
ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН  
МОРСКИХ БАССЕЙНОВ

# ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕХНОГЕННОГО ГРУНТОВОГО СТОКА В РЕКЕ ЛУГА НА АКВАТОРИЮ ЛУЖСКОЙ ГУБЫ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

Дугганна Ралалаге Кавиша Бандара, Н. А. Бродская

<sup>1</sup>Российский Государственный Гидрометеорологический Университет,  
Санкт-Петербург, kaveeshabandara48@gmail.com; gidro-geo@yandex.ru

Вертикальная нарушенность геологического и гидрогеологического разреза при формировании зоны взаимодействия промышленного предприятия с окружающей средой происходит при уничтожении природных форм рельефа и создании новых, техногенных форм, с привнесением намывных и насыпных отходов производства. Особенно масштабное взаимодействие проявляется при карьерной отработке месторождений полезных ископаемых в условиях гумидного климата и развитой гидрографической сети. Как правило, это водоемкие горно-химические производства, нагруженные не только предприятиями переработки руды, но и сложными вспомогательными производствами. При этом формируется динамическая геотехническая система (ГТС), с изменением водного баланса, подтоплением территории, развитием депрессионных воронок грунтовых вод при осушении продуктивного пласта, трансформацией поверхностных вод, выражающейся в изменении и срабатывании русел, в загрязнении, нарушении аквальных биоценозов, сокращении их видового разнообразия, заболевании населения. Продукты техногенеза включаются в водную миграцию и негативно влияют на экологическую обстановку акваторий морей в зоне разгрузки природных вод.

Объектом наших исследований является территория ООО «ПГ Фосфорит», крупного градообразующего предприятия горнопромышленного комплекса, располагающегося в Ленинградской области. По степени воздействия на природные условия это предприятие вызывает ответную реакцию компонентов окружающей среды, выходящую далеко за пределы его земельного отвода и зоны санитарной охраны. Уникально оно тем, что построено на отработанных карьерами территории, на нарушенных и перемещенных грунтах, характеризующихся высокой фильтрационной способностью. Это способствовало формированию техногенного горизонта грунтовых вод на промплощадке и в зоне хранилищ жидких и условно «сухих» отходов производства (рис. 1, таблица).

Для оценки воздействия загрязненных грунтовых вод на р. Луга были использованы данные нескольких источников, а именно: данные, полученные лабораторией Санкт-Петербургского ЦГМС с участием сотрудников из лаборатории Финского института окружающей среды (SYKE), а также данные исследований кафедры гидрогеологии РГГМУ и предоставленные ООО «ПГ Фосфорит». На территории промышленного комплекса создана режимная контрольно-наблюдательная сеть скважин (КНС), данные наблюдений позволили выявить закономерности режима грунтовых вод и оценить динамику уровня и химического состава за многолетний период [1; 2].

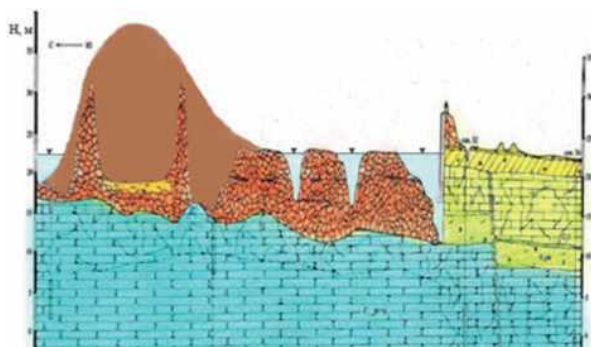


Рис. 1 Нарушенный гидрогеологический разрез и уровень грунтовых вод на территории хранилища фосфогипса

Гидродинамическая схема представлена на рис. 2 по состоянию на момент отработки карьеров Южного рудника. В связи с водопонижением в зоне карьеров, депрессионная воронка определила генеральное направление грунтовых вод с северной промплощадки в забои карьеров. В то же время, с юга, со стороны Нарвского водохранилища (абс. отм. 25 м), грунтовые воды также имеют направление движения в карьеры. Необходимо отметить, что на промплощадке сформировалось устойчивое загрязнение грунтовых вод специфическими компонентами, превышающее в сотни и тысячи раз ПДК (таблица).

### Динамика химического состава грунтовых вод в техногенных грунтах спустя 20 лет карьерной отработки

Компоненты, мг/дм <sup>3</sup>	Дата отбора проб грунтовых вод				Сточные воды	ПДКр/х мг/дм <sup>3</sup>
	21.07.1982	08.08.1983	10.07.1984	18.08.1985		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	240,0	797,6	768,5	1080,0	3,39	0,40
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26,8	27,9	27,9	50,0	0,05	0,02
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	3313,9	2807,5	1700,0	1004,5	1,99	0,05
F <sup>-</sup>	7,1	4,3	4,8	4,1	0,60	0,40
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1062,5	2881,8	3050,0	4132,0	130	100,00
pH	5,53	5,53	5,74	6,01	–	6,50–8,50

Основное ядро загрязнения приурочено к хранилищам отходов от производства сложных минеральных удобрений. Динамика уровней грунтовых вод в зонах хранилищ отходов привела к формированию купола поднятия, с максимальными отметками 20–24 м. Причем, в ходе уровня не проявляются естественные экстремальные периоды, отмечается постепенное его повышение. До 2006 г. гидродинамическая обстановка на территории характеризовалась направленностью грунтового стока с севера на юг (рис. 2), в настоящее время направленность стока определялась подпором грунтового стока и подтоплением промплощадки [3].

Как видно на рис. 3, в зоне затопленных Южных карьеров появился сток в р. Луга. Это негативный фактор, даже разбавленный, сильно загрязненный сток с территории предприятия вносит в речные воды загрязняющие вещества, помимо организованного сброса сточных вод.

В настоящее время забои карьеров Южного рудника в связи с остановкой горных работ заполнены водой до абс. отм. выше 12 м. Эта вода представляет собой смешанный грунтовой сток с территории промпредприятия (загрязненный сток), который вышел на поверхность, и сток со стороны Нарвского водохранилища (чистый сток). Для их оценки отстроена гидродинамическая схема и по выделенным лентам тока одинаковой ширины рассчитан подземный сток. Их величины: техногенный загрязненный сток составляет 700 м<sup>3</sup>/сут, чистый 350 м<sup>3</sup>/сут, суммарный подземный сток в зону карьеров составляет 8750 м<sup>3</sup>/сут. Таким образом, сток из карьеров р. Луга практически принимает этот объем воды и разбавленные загрязнения, где абс. отм. уреза воды – 2,5 м.

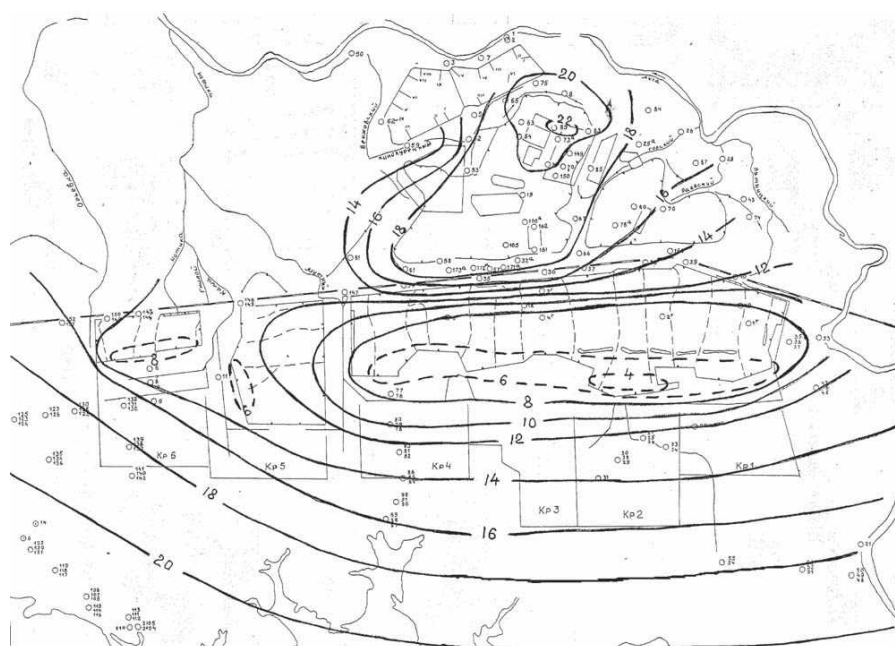


Рис. 2. Схема гидронизогипс на момент отработки карьеров

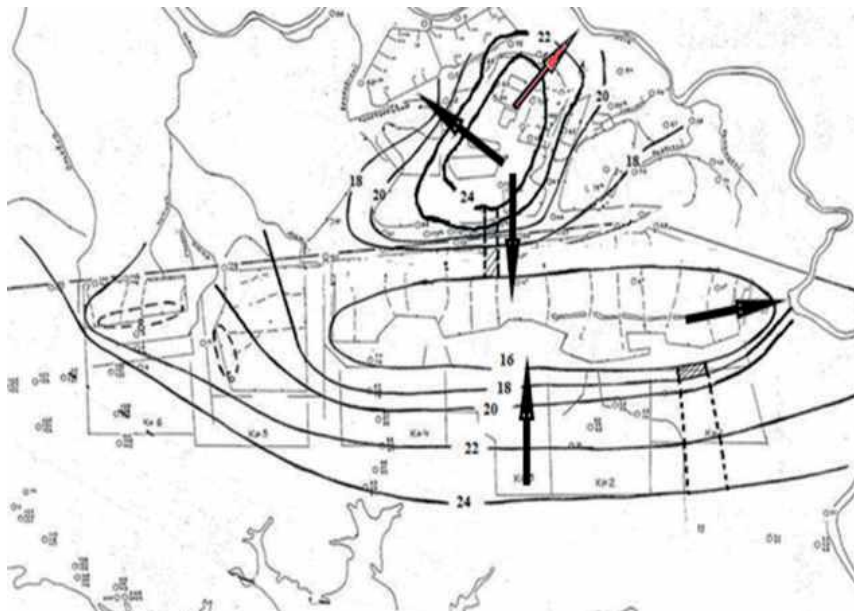


Рис. 3. Схема гидрозогипс на момент прекращения отработки карьеров

Генетическая взаимосвязь поверхностных и подземных вод позволяет рассматривать расходы воды в р. Луга и подземный приток как вход и выход некоторой реальной динамической системы. Отметим, что методы линейных динамических систем нашли хорошее теоретическое развитие в классических работах (Дж. Бокса и Г. Дженкинса, Р. Л. Кашьяпа и А. Р. Рао).



б



Рис. 4, а. Границы участка промышленной площадки ООО «ПГ «Фосфорит», масштаб: в 1 см 300 м, б. Карта мониторинга р. Луга

Применение этих методов к анализу реальных природных систем рассмотрено в нашей работе [4]. Здесь рассмотрим миграцию объемов химического загрязнения от карьерного стока, через сброс сточных вод к устью р. Луга. На рис. 4 видно, что река является границей территории промышленного комплекса на севере и востоке, эти границы являются гидродинамическими граничными условиями проницаемыми (первого рода), следовательно здесь река принимает грунтовый сток, хорошая гидравлическая связь доказана нами в работе [4]. Расход воды в р. Луга в створе ГМС Кингисепп составляет 83 м<sup>3</sup>/с, этот объем способен разбавить загрязнения, вносимые через сброс сточных вод до норм. ПДК р/х водоемов. Как показали наши исследования, действительно, уже в 500 м ниже сброса по течению концентрация фосфора фосфатов 4,990 мг/дм<sup>3</sup> разбавляется до 0,067 мг/дм<sup>3</sup>.

За границей землеотвода предприятия, в 2 км ниже по течению концентрация этого загрязнителя снова повышается до 2,626 мг/дм<sup>3</sup>, через 500 м снижается до 0,076 мг/дм<sup>3</sup>. Далее, к устью р. Луга, более 50 км концентрация фосфора фосфатов снижается до 0,048 мг/дм<sup>3</sup>, при ПДК р/х 0,02 мг/дм<sup>3</sup>. Причем, в зимнюю межень концентрации увеличиваются.

Выявить источник техногенного загрязнения нам удалось только с помощью модели рассеивания загрязнений в р. Луга при сбросе сточных вод и карьерного стока. Расчет рассеивания загрязняющих веществ (ЗВ), производился с помощью математического моделирования. В качестве рабочей программы для моделирования рассеивания ЗВ в Луге использована программа «Waste 4.5 final». [5]. В 2 км за восточной границей промпредприятия разгружается ручей, дренирующий загрязненный грунтовый сток. Его опробование и включение в модель позволили сделать вывод: загрязненный грунтовый сток, сформировавшийся на территории промпредприятия, является основным источником загрязнения р. Луга, впадающей в Лужскую губу Балтийского моря. В условиях подтопления территории это загрязнение будет устойчивым много лет [6].

Для снижения негативного воздействия требуется локальное дренирование всех накопителей отходов, в том числе бытовых, с очисткой на локальных очистных сооружениях, как это уже успешно работает на хранилище «сухого» фосфогипса.

### Литература

1. Бродская Н. А., Векшин А. К. Воздействие отходов производства минеральных удобрений на природные водные объекты // Сборник материалов XXV Международного Биос-форума. – СПб. : НЦ РАН, 2020. – С. 276–281.
2. Бродская Н. А. Возможности использования водных объектов в зонах погашенных карьеров // Тезисы доклада научной конференции «Комплексные проблемы гидрогеологии». – СПбГУ, 2013. – С. 16–19.
3. Бродская Н. А., Павлов А. Н. Возможности развития ландшафтно-экологического туризма на территориях с повышенной техногенной нагрузкой // Уч. Записки РГГМУ Научно-теоретический журнал. – 2013. – № 30: С. 115–132.
4. Бродская Н. А., Мякишева Н. В., Александрова К. В. Оценка разномасштабного взаимодействия поверхностных и подземных вод // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2015. – № 38. – С. 36–50. – URL: <https://rshu.ru/university/notes/archive/issue38/uz38-36-50.pdf> (дата обращения: 01.11.2024).
5. Шишкин А. И., Епифанов А. В. Оценка техногенного воздействия на водные объекты с применением геоинформационных систем // ГГОУВПО СПбГТУРП. – СПб., 2010. – 110 с. – URL: <https://nizrp.narod.ru/otvnvospgs.pdf> (дата обращения: 01.11.2024).
6. Impact of technogenic runoff from the territory of the mining complex on natural water bodies. International multidisciplinary scientific geoconference / Authors N. Brodskaya, L. Vampilova, A. Sokolova // SGEM 2021 STEF92 Technology Ltd. – Vol. 5.1. – P. 261–268. – URL: <https://doi.org/10.5593/sgem2021/5.1/s20.033> (дата обращения: 01.11.2024).

# О НЕКОТОРЫХ ПЕРВИЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ НАМЫВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГ В 2022–2024 гг.

Р. А. Дьячковский, Е. Ю. Чебыкина

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, romand1001@yandex.ru*

В последние десятилетия все больше усиливается антропогенная нагрузка на прибрежно-морские зоны от проектов, связанных с формированием намывных и насыпных территорий [19; 21]. Формируются новые искусственные местообитания для организмов, представляющие собой урбоэкосистемы. От типичных природных экосистем их отличает более активный поток вещества и энергии на единицу площади, а также значительный поток отходов, в том числе характеризующихся значительной токсичностью [15].

За последние 10 лет в Санкт-Петербурге была намыта территория, составляющая около 4% от общей площади города [6]. Центральная часть города утратила свои естественные черты из-за интенсивной антропогенной деятельности, сформировавшей техногенный рельеф из намывных и насыпных грунтов. Толщина этих грунтов достигает нескольких метров, и они перекрывают бывшие водоемы и речные долины. Значительные площади в акватории Финского залива были намыты, что изменило естественную береговую линию [3]. Намытые грунты активно использовались с конца прошлого столетия при создании парковых зон, а сегодня – в качестве территорий для жилого строительства, что позволяет использовать их как объекты для мониторинга развития почвенно-растительного покрова [9].

Намывные территории из-за своего относительно недавнего образования еще не являются в достаточной степени описанными в научной литературе. Видится возможным рассматривать отдельные намывные территории как модельные комплексные экосистемы – полностью не изолированные от города и дающие представление о развитии биогеоценозов на локальных уровнях организации в различные стадии своего временного развития [5].

Данная работа представляет собой первую часть комплексного изучения геосред намывных территорий Санкт-Петербурга. В полевой сезон 2022–2024 гг. был выполнен комплекс рекогносцировочных обследований трех намывов в черте города Санкт-Петербурга: Южно-Приморского парка (ЮПП), Василеостровского намыва (ВН) и парка 300-летия (П300) Санкт-Петербурга в целях дальнейшего, более детального изучения геосистем.

Производился отбор проб снега, поверхностных вод и почвогрунтов. Суммарно было отобрано 18 точечных проб снега в 2023 г. и 19 проб в 2024 г. Из поверхностных водоемов в 2023 г. было отобрано 16 точечных проб. Отбор проб почвогрунтов производился в середине лета 2023 г. Суммарно была отобрана 31 точечная проба почвогрунтов. Кроме того, на территориях намывов было заложено несколько почвенных разрезов – один в П300, один в ЮПП и два почвенных разреза на ВН.

Обследование вод и снега проводилось по следующим компонентам: рН, хлорид-ион, перманганатная окисляемость (ПО) [10] и содержание тяжелых металлов (ТМ). Для снегового покрова также рассчитывалась средняя глубина снегонакопления, а для вод определялась общая жесткость (ОЖ) и содержание ионов кальция и магния.

Для проб почвогрунтов изучались: рН водной и солевой суспензии, базальное дыхание (БД) в небогатенной субстратом почве, гигроскопическая влажность, плотность твердой фазы, гранулометрический состав почв по Качинскому, содержание ТМ, содержание общего углерода и азота, вертикальное электрофизическое зондирование (в полевых условиях). Диагностика почв производилась согласно «Классификации и диагностике почв» (2004 г.) [7; 17] и согласно классификации антропогенных почв М. И. Герасимовой и др. [4].

Количественный анализ содержания тяжелых металлов в водных растворах снега и водоемов осуществлялся в Ресурсном центре СПбГУ «Методы анализа состава вещества» методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на оптическом эмиссионном спектрометре ICPE-9000.

Вертикальное электрофизическое зондирование кажущегося электрического сопротивления почв было выполнено с помощью портативного прибора LandMapper (ERM03) с четырех-электродной схемой установки AMNB (установка Шлюмберже) [20].

Определение тяжелых металлов в почвогрунтах производилось рентгено-флюоресцентным методом (XRF) в твердой фазе с помощью современного переносного портативного XRF-анализатора Olympus Innov-X DELTA Series. На базе лаборатории ИТМО проводился анализ проб почв в твердой фазе рентгено-флюоресцентным методом портативным рентгеновским спектрометром «Спектроскан» [8] на содержание следующих химических элементов: Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, Cr, V, TiO<sub>2</sub>. Пересчет из оксидных содержаний к концентрации элементов осуществлялся согласно стандартным коэффициентам пересчета [13].

Содержание общего углерода и азота в почвах определялось в Ресурсном центре Научного парка СПбГУ «Методы анализа состава вещества» на элементном анализаторе LECO TruSpec MICRO. Пересчет содержания углерода на гумус производился путем умножения на коэффициент 1,724 [16].

Разрез ЮПП был заложен в его северной залесенной части под березняком. Почвы представляют собой дерново-подзол глееватый псевдофибровый супесчаный на погребенных глеевых суглинках. Изученный профиль почвы на намывных территориях в ПЗ00 был классифицирован как урбиквазизем [7]. Четкое разделение на генетические горизонты отсутствует. Согласно М. И. Герасимовой и др. [4], эту почву можно классифицировать как технозем. На ВН было заложено два профиля. Один из них представляет собой эмбриозем [4] или псаммозем гумусовый [7]. Второй разрез представляет собой реплантозем.

Фактически все исследованные пробы ВН относятся к супесям, и лишь одна проба может быть классифицирована как песок. При переходе к территориям более раннего намыва (ЮПП и ПЗ00) происходит увеличение элементарных почвенных частиц фракции пыли и ила. Все образцы относятся к суглинкам от легких до тяжелых, в основном пылеватым.

Территория ВН характеризуется самым большим процентом скелета относительно двух других объектов. Здесь половина точек наблюдения относится к средне-, сильноскелетным, процент скелета может достигать до 30%. Выявлено, что грунты намывов в вертикальном сложении отмечаются сильной неоднородностью. В профиле ЮПП проявляется процесс оподзоливания, а на завезенном плодородном субстрате ВН у ЗСД формируется профиль типичных серогумусовых почв. Для более поздних стадий намывов характерно накопление органических веществ, что приводит к формированию более мощного верхнегумусового горизонта.

Содержание углерода в почвах намыва сравнимо с данными для городских почв Санкт-Петербурга [1]. Динамика изменения содержания гумуса в почвах намыва ЮПП показывает прирост с 0,1–6,3% в 2005 г. [18] до 5,2–6,9% (при пересчете C<sub>общ.</sub> на гумус). В ПЗ00 также прослеживается увеличение показателей: в 2005 г. содержание гумуса было на уровне 0,3–4,3%, тогда как в 2023 г. – 6,4–12,6%. Отношение C/N характеризуется низким значением – почвы бедные, происходит минерализация органических веществ. Большая биологическая активность микроорганизмов отмечается в тех местах, где уже начался почвообразовательный процесс. Более высокие значения БД показывают поверхностные гумусовые горизонты.

Относительно фонового содержания в Ленинградской области выстраивается следующий ряд элементов с коэффициентами концентрации K<sub>c</sub> больше 1 для медианных концентраций элементов:

- для ПЗ00: Y<sub>1,1</sub> < Ni<sub>1,1</sub> < Sr<sub>1,1</sub> < Rb<sub>1,3</sub> < Co<sub>1,5</sub> < Zn<sub>1,8</sub> < Nb<sub>1,8</sub> < Pb<sub>2,0</sub> < Ti<sub>2,1</sub> < Zr<sub>2,4</sub> < Ba<sub>2,6</sub> < Mn<sub>3,2</sub> < As<sub>3,8</sub> < V<sub>4,4</sub> < Cr<sub>4,9</sub>;
- для ВН: Pb<sub>1,1</sub> < Sr<sub>1,3</sub> < Mn<sub>1,5</sub> < Rb<sub>1,8</sub> < Zr<sub>2,0</sub> < As<sub>2,5</sub> < Cr<sub>2,9</sub> < Ba<sub>3,1</sub> < Sn<sub>6,2</sub>;
- для ЮПП: Sr<sub>1,1</sub> < Y<sub>1,1</sub> < Rb<sub>1,4</sub> < Ni<sub>1,6</sub> < Zr<sub>1,7</sub> < Pb<sub>1,7</sub> < Nb<sub>2,0</sub> < Ti<sub>2,0</sub> < Co<sub>2,2</sub> < Zn<sub>2,2</sub> < Ba<sub>2,5</sub> < V<sub>3,6</sub> < Mn<sub>3,7</sub> < As<sub>4,2</sub> < Cr<sub>4,7</sub>.

В соответствии с индексом суммарного загрязнения почв грунты намывных территорий характеризуются категорией загрязнения от допустимой до умеренно опасной. Вниз по профилю почти всегда максимальная концентрация металлов наблюдается в поверхностных горизонтах, наиболее активно аккумулирующих атмосферные загрязнения. В почвах ПДК превышает содержание типичных характерных загрязнителей города – As, Pb, Zn и Ni. Существуют локальные превышения фона ртутью (K > 65) и кадмием (K > 8).

В результате проведенной работы не было выявлено значительных отклонений от нормы в анализируемых компонентах вод и снега.

Снеговой покров характеризовался наименьшей глубиной на ВН (средняя глубина – 16,6 см). Это обусловлено сильными ветрами со стороны Финского залива, которые не позволяют снегу задерживаться на территории намыва.

На территории ЮПП значения показателя рН снега фактически совпадают с природным значением уровня рН осадков (рН = 5,6) [11], тогда как на территории ПЗ00 и ВН образуются места с нейтральной и слабощелочной реакцией.

В снеговом покрове отмечалось накопление Ba, Fe, Mn, Sr, Zn, Cr, Cu, Ti и V на уровне или незначительно выше фоновых концентраций [2]. Отмечаются превышения установленных ПДК<sub>х.б.</sub> [14] по Fe и Mn в водных объектах, что может считаться нормой в рамках региональных геохимических особенностей Санкт-Петербурга.

Отмечено, что значения ПО в снеге и в водных объектах ЮПП были выше значений в ПЗ00 и на ВН. Вероятно, на повышение содержания органического вещества оказывает влияние большое содержание листового опада, слабопроточность мелиоративных каналов и выгул домашних питомцев на данной территории.

Повышение значений хлорид-ионов в водах Дудергофского канала может свидетельствовать о загрязнении сточными водами (достигает значений в 100 мг/дм<sup>3</sup>) [12]. Пробы вод на всех участках характеризуются как мягкие-среднежесткие. Незначительное увеличение значений ОЖ наблюдается от ПЗ00 к ЮПП.

Результаты исследований лягут в основу дальнейшего детального изучения данных территорий.

Работа выполнена при поддержке РФФ, проект № 23-16-20003. Работа посвящена 300-летию Санкт-Петербургского государственного университета.

## Литература

1. Абакумов Е. В., Павлова Т. А., Динкелакер Н. В. и др. Санитарная оценка почвенного покрова кампуса Санкт-Петербургского государственного университета // Гигиена и санитария. – 2019. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sanitarnaya-otsenka-pochvennogo-pokrova-kampusa-sankt-peterburgskogo-gosudarstvennogo-universiteta> (дата обращения: 01.11.2024 г.).
2. Воронцова А. В., Нестеров Е. М. Геохимия снегового покрова в условиях городской среды // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. – 2012. – Т. 147. – С. 125–132.
3. Геологический атлас Санкт-Петербурга. – СПб.: Комильфо, 2009. – 57 с.
4. Герасимова М. И., Строганова М. Н., Можарова Н. В. и др. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / Под ред. академика РАН Г. В. Добровольского. – М.: Ойкумена, 2003. – 270 с.
5. Дьячковский Р. А., Чебыкина Е. Ю. Результаты эколого-гидрогеохимических обследований водных объектов и снегового покрова намывных территорий г. Санкт-Петербурга: Сборник материалов Всероссийской конференции по естественным и гуманитарным наукам с международным участием 21 ноября 2023 года. – СПб.: СПбГУ, 2024. – С.183–185. – URL: <http://hdl.handle.net/11701/47234> (дата обращения: 01.11.2024).
6. Дьячковский Р. А., Шилин М. Б. Оценка экологической благоприятности существования гидробиологических сообществ в восточной части Финского залива // Международная научно-практическая конференция «Экологически-дружественное развитие прибрежных зон и морских акваторий», 9–10 декабря 2021 г. (Россия). Парламентский центр МПА СНГ. – 2021.
7. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова – Смоленск: Ойкумена, 2004 – 342 с.
8. М-049-П/16 «Методика измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом». – СПб., 2016. – 18 л.
9. Максимова Е., Абакумов Е. Намывные почвы Санкт-Петербурга // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. – 2015. – № 4. – С. 93–102.
10. Методические рекомендации по определению химического состава подземных и поверхностных вод при инженерно-геологических изысканиях. – М.: «ДАР\ВОДГЕО», 2003. – 46 с.
11. Нестеров Е. М., Грачева И. В., Зарина Л. М. Об информативности показателей общей минерализации и кислотно-щелочных свойств при определении степени загрязненности снегового покрова урбанизированных территорий // Экология урбанизированных территорий. – 2012. – № 3. – С. 81–88.
12. Общая гигиена. Руководство к лабораторным занятиям / Д. И. Кича, Н. А. Дрожжина, А. В. Фомина – 2015. – 288 с.



13. Панова Е. Г., Ахмедов А. М. Геохимические индикаторы генезиса терригенных пород: учеб, пособие / Е. Г. Панова, А. М. Ахмедов. – СПб. : СПбГУ, 2011. – 64 с.
14. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (зарегистрирован 29.01.2021 № 62296) [Электронный ресурс]. - Доступ из системы ГАРАНТ.
15. Прохорова Н. В. Урбоэкология: учебное пособие / Н. В. Прохорова, Ю. В. Макарова, Н. В. Власова. – Самара : Самарский университет, 2022. – 140 с.
16. Семендяева Н. В. Методы исследования почв и почвенного покрова: учеб. пособие / Н. В. Семендяева, А. Н. Мармулев, Н. И. Добротворская – Новосибирск : Издво НГАУ, 2011 – 202 с.
17. Федоров А. С., Горячкин С. В., Касаткина Г. А. География почв. – СПб. : Изд-во СПбГУ, 2013. – 256 с.
18. Часовская В. В. Исследование химических свойств намывных грунтов Финского залива // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2005. – № 10. – С. 147–149.
19. Шилин М. Б., Голубев Д. А., Леднова Ю. А. Техносферная безопасность дреджинга. – СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2010.
20. Alekseev I., Abakumov E., Kosteki J. Vertical electrical resistivity sounding (VERS) of tundra and forest tundra soils of Yamal region // International Agrophysics. – 2017. – Vol. 31, no. 1. – P. 1–8.
21. Raateoja M., Setälä O. The Gulf of Finland assessment // Reports of the Finnish environment institute. – 2016. – Vol. 27. – 368 p.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УЧЕТА ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОСЕТЕЙ

А. В. Евдокименко<sup>1</sup>, А. Н. Сукнотова<sup>1,2</sup>, О. Г. Видергольд<sup>2</sup>, Е. И. Куталия<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, [evdokimenko.an@yandex.ru](mailto:evdokimenko.an@yandex.ru)

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург

Зеленые насаждения играют ключевую роль в обеспечении комфортной городской среды. Большинство горожан предпочитает жить среди зелени, где деревья защищают от шума и загрязнений. Однако ограниченная городская территория создает альтернативные запросы – сокращение времени на дорогу, отсутствие пробок и развитая инфраструктура.

Устойчивое развитие городской среды требует соблюдения баланса между высоким темпом индустриального роста и сохранением качества жизни людей. Наличие растительности – важный параметр, влияющий на экологическое благополучие. Одной из основных практик в мировых столицах является повышение функциональности зеленой инфраструктуры. Для этого процесса необходимо четкое понимание распределения растительности и ее типов на территории города, что поднимает проблему учета зеленых насаждений. Эффективное управление деревьями и кустарниками (посадка, уход, содержание и рубка) невозможно без точного знания их местоположения и характеристик, для этого необходимы отлаженные системы учета. Если уполномоченный орган власти не обладает актуальной, регулярно обновляемой информацией о состоянии и расположении деревьев, кустарников и газонов, надлежащий контроль за их сохранностью сильно усложняется (например, становится невозможно установить факт незаконной вырубки или повреждения растений).

На текущий момент система учета зеленых насаждений остается основанной на методах, разработанных еще до появления современных технологий и представлена паспортизацией, тогда же был создан Реестр зеленых насаждений (РЗН). На балансодержателей территорий возложена обязанность составления паспортов территорий, содержащих среди прочего информацию о расположении и состоянии зеленых насаждений. Паспортизация является сложной и дорогостоящей услугой с привлечением специалистов для оценки состояния насаждений и привязки к городской картографической основе. Это приводит к тому, что у балансодержателей территории полностью отсутствует интерес к этой деятельности. В итоге текущий реестр зеленых насаждений часто не полон и содержит фрагментированную, устаревшую информацию, в которой механизм регулярной актуализации не предусмотрен. Сейчас система учета зеленых насаждений нуждается в модернизации.



**Рис. 1.** Разметка эталонных участков на космоснимке для обучения нейросети

Задачей данного исследования является обозначение проблем направления и разработка концепции единой системы мониторинга и учета городских зеленых насаждений, основанную на передовых международных практиках, предшествующем опыте учета, современных технологиях и управленческих методах. Важной составляющей решения является поиск инновационных управленческих и технологических подходов, которые бы обеспечили получение и обработку информации о зеленых насаждениях.

В российской и международной практике госуправления есть опыт использования новых источников информации, методов и технологий, в том числе основанных на данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), наземного 3D-сканирования местности, краудсорсинга. При использовании таких методов и технологий критически важной становится точность распознавания растительности, ее видов, возраста, высоты и других данных. В случае когда специалист заполняет информацию о растительности «в ручном режиме», стоит заранее озаботиться решением проблемы «ошибки эксперта», например, ошибки в привязке растительности к местности, дублирование информации. В случае если для учета насаждений используется сразу несколько источников информации, нужно заранее понять, как будет решаться проблема интеграции данных из различных источников, в том числе чтобы учет одной и той же растительности не дублировался. Особенно необходимо сосредоточиться на удешевлении процесса и освобождении балансодержателей от обязанностей по учету и обновлению данных.

С учетом установленной проблематики решением поставленных задач может являться исключительно картографический сервис, включающий в себя геоинформационную систему (ГИС) и базу данных, пополняемую группой различных источников.

Источники пространственных объектов на карте:

- использование цифровых материалов актуальных предшествующих работ: объекты с уже существующих картографических сервисов (ГИС ЖКХ, РГИС СПб, кадастровые карты и карты Росреестра);

- использование инструментальных методов с последующей цифровой обработкой. На данном этапе к ручной оцифровке и дешифрированию космоснимков подключаются системы нейросетей для автоматизации процесса оцифровки и распознаванию зеленых насаждений и территорий;

- формирование и пополнение сопровождающей базы данных. Информация, полученная мелкомасштабными дистанционными способами, ограничена и чаще всего представлена собственно обнаружением дерева или территории и определением вида листьев (хвойные или лиственные) с помощью индекса NDVI. Для сбора дополнительных характеристик

потребуется внедрение краудсорсинговых технологий, привлекая к инвентаризации деревьев волонтеров и активных граждан. Эти данные могут быть подтверждены редкими проверками специалистов.

Разработка сервиса учета зеленых насаждений и его мониторинга с привлечением технологий краудсорсинга.

1. Сервис представлен мобильным приложением с элементами геймификации (использование игровых элементов), где за выполнение задач пользователи получают баллы, которые можно обменять на скидки в магазинах или оплату транспорта. Система также включает уровни, награды и достижения, что повышает мотивацию и вовлеченность.

2. Главная страница: карта города с зелеными насаждениями – интерактивная карта, на которой отображаются деревья, кустарники и другие объекты зеленых зон с возможностью фильтрации по районам и видам насаждений.

3. Состояние зеленых насаждений: цветовая индикация состояния деревьев (здоровое, нуждается в уходе, подлежит вырубке), основанная на данных мониторинга.

4. Сканирование и добавление информации пользователями: пользователи могут сканировать и добавлять информацию о деревьях, включая фото с геометкой и сообщения о проблемах, таких как повреждения, болезни, незаконная рубка, угроза падения. Важными данными являются вид дерева, диаметр ствола, а также условные параметры общей высоты и ширины кроны.

5. История ухода и работы, а также будущие работы: хронология всех мероприятий, проведенных с данным деревом (посадка, обрезка, лечение, вырубка) и информация о запланированных мероприятиях с деревьями в конкретной зоне.

6. Обратная связь с пользователями: уведомления о состоянии близлежащих насаждений и изменениях в зеленых зонах, а также возможность оставлять отзывы, обсуждать мероприятия по озеленению и участвовать в инициативах по посадке деревьев.

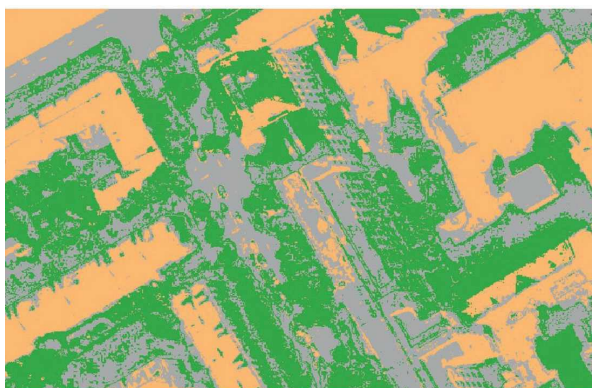
Параметры, такие как оценка объема поглощения углекислого газа, удержание воды и фильтрация загрязнений рассчитываются самими алгоритмами системы на основе внесенных характеристик дерева и позволяют оценить вклад конкретного дерева в экологическую устойчивость города.

Несмотря на новые методы пополнения базы данных, обойтись без ручной работы на карте не представляется возможным. Однако современные технологии способны существенно автоматизировать данный процесс. Мы разработали начальный этап метода автоматизации оцифровки космических снимков с использованием нейросети для поиска и учета зеленых насаждений, что позволит создать первичную базу данных и массив координат на примере территории Васильевского острова Санкт-Петербурга.

Для работы была выбрана нейросеть Orfeo, интегрированная в ГИС-платформу QGIS с использованием специализированных библиотек и инструментов, что позволяет эффективно использовать ее как функциональный модуль для обработки данных.



Рис. 2. Результирующая схема расположения зеленых насаждений, созданная нейросетью



А



Б

**Рис. 3. Схема расположения изученной площади**

А – модель, построенная нейросетью, Б – исходный космоснимок

Этапы работы с нейросетью.

1. Загрузка космического снимка и создание разметочного слоя. Этот этап включает классификацию объектов; в данном примере были использованы три класса: зеленые территории (деревья и кустарники), крыши зданий и дороги.

2. Разметка объектов. На участках формируются полигоны, которые оцифровывают эталонные участки объектов (рис. 1).

3. Обучение нейросети. На данном этапе проводится анализ изображения и «тренировка анализатора» от космоснимка к оцифрованным объектам. Нейросеть анализирует растровое изображение в местах наших оцифрованных объектов, классифицирует на основе разметки и, исходя из полученных данных, анализирует остальные участки растра. На выходе получается математическая модель сложного формата.

4. Классификация изображения. Завершающий этап, который переводит модель в растр и классифицирует его по значениям, присваивая цвет (рис. 2).

Сравнивая изображения, на одном из которых деревья визуально легко идентифицируются (рис. 3, Б), с моделью, созданной нейросетью (рис. 3, А), можно заключить, что качество распознавания общей картины находится на высоком уровне.

Однако при детальном рассмотрении выявляются погрешности, шумы и артефакты, особенно в местах с тенями, где они создают ложные участки темных оттенков, смешивая объекты в одну массу. Также погрешности отмечаются на мелких объектах (одиночном дереве с узкой кроной), для таких объектов не хватает разрешения снимка. В то же время получение космических снимков высокого разрешения в бессолнечную погоду может способствовать устранению выявленных погрешностей и значительному повышению качества разметки и классификации.

Таким образом, модернизация системы учета зеленых насаждений с использованием современных технологий представляется более чем реальной задачей, что подчеркивает важность дальнейшего развития этого направления.

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ АКВАТОРИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ

Жэнь Ицянь, Д. И. Зеликман

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, s235005@studspmi.ru

Развитие портовой инфраструктуры сопряжено с проведением инженерно-геологических изысканий в пределах прибрежных мелководных участков акваторий. Основными задачами изысканий являются литологическое расчленение геологического разреза, определение кровли несущих грунтов и выявление геологических объектов, затрудняющих проведение дноуглубительных работ изучения геологических и инженерно-геологических процессов и явлений на шельфе [1].

Для быстрого и детального обследования акваторий широко и успешно применяются гидроакустические методы. Однако в неблагоприятных условиях, обусловленных наличием сплошного распространения газонасыщенных и мерзлых грунтов, возможности гидроакустики ограничены [2; 3]. В этих случаях рекомендуется привлекать в качестве вспомогательных электроразведочные методы. Наиболее распространенным из них является непрерывное электрическое зондирование с различными установками, выполняемые в движении с плавсредства. Для увеличения информативности исследований малоглубинных акваторий применяется также акваториальная электротомография (ЭТ) в надводной (НЭТ) и донной (ДЭТ) модификациях.

Применение морской электроразведки считается недостаточно эффективным по причине высокой минерализацией воды в придонных отложениях, которая, наряду с литологическим составом, влияет на их геоэлектрические свойства [4]. Возможность применения электроразведочных технологий к морским условиям требует дополнительных исследований эффективности применения ЭТ.

С этой целью синтезированы и проанализированы базовые геоэлектрические и электротомографические модели водонасыщенных песчано-глинистых отложений мелководных акваторий, позволяющие установить степень и характер влияния факторов, определяющих УЭС ( $\rho$ ) дисперсных грунтов при изменении минерализации воды, и выбрать наиболее эффективную модификацию электроразведочных наблюдений.

Приведены базовые геоэлектрические модели водонасыщенных песчано-глинистых отложений мелководных акваторий. Выявлены особенности влияния ионнообменной емкости (ЕКО) глинистых минералов на  $\rho$  дисперсных грунтов при изменении минерализации воды. Сформулированы условия для модификации наблюдений для успешного применения электротомографии при изучении геологического строения придонных отложений в прибрежной части морских акваторий.

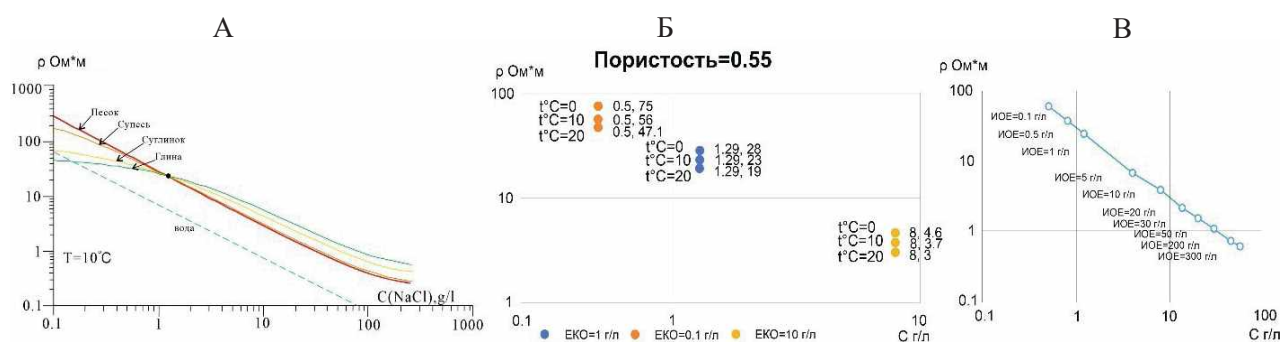


Рис. 1. Зависимости изменения соотношения  $\rho$  песчано-глинистых пород относительно точки инверсии (А), положения при изменении температуры (Б) и величины емкости катионного обмена (ЕКО) (В)

Геоэлектрические модели придонных отложений синтезированы с помощью алгоритмов А. А. Рыжова, объединенных в алгоритм «Петрофизика», на основе которых разработана широко применяемая на практике программа «Петро» [5].

Результаты моделирования представлены в виде графиков зависимости  $\rho$  песчано-глинистых отложений от минерализации ( $C$ ) поровой воды (рис. 1). Графики для различных отложений при минерализации около  $1,5 \text{ г/дм}^3$  пересекаются. Это пересечение получило название точки инверсии  $\rho$  песчано-глинистых отложений. В этой точке наблюдается равенство значений  $\rho$  песчано-глинистых отложений.

В точке инверсии  $\rho$  не зависит от литологического состава отложений. При  $C$  справа от точки инверсии, наибольшим  $\rho$  обладают глины, а наименьшим пески. По мере приближения к точке инверсии показатель контрастности  $\rho$  песчано-глинистых отложений уменьшается значительно, чем при удалении от нее. Сопоставление координат точек инверсии при изменениях температуры показало, что этот фактор не влияет на ее положение при изменении  $C$  (рис. 1, Б).

На положение точки инверсии наибольшее влияние оказывает величина ЕКО (рис. 1, В). Смещение этой точки на билигарифмической диаграмме зависимости  $\rho$  от  $C$  происходит по линейному закону. С увеличением ЕКО от 1 до  $300 \text{ г/дм}^3$  координаты точки инверсии изменяются на несколько порядков. Величина ЕКО, как хорошо известно, зависит от минерального состава дисперсных пород. Из породообразующих минералов наибольшее влияние на величину ЕКО оказывают глинистые минералы групп каолинита, иллита и монтморрилонита, среди которых каолинит обладает наименьшей, а монтморрилонит – наибольшей физико-химической активностью [5].

Для оценки эффективности акваториальных электротомографических наблюдений при изучении строения геологических разрезов придонных отложений в условиях различной солености воды синтезированы типичные электротомографические модели для донных и надводных систем наблюдений.

Геоэлектрическая модель включает песчано-глинистые отложения, формирующие горизонтально залегающие слои песка, супеси суглинка и глины (рис. 2, а).

Три варианта геоэлектрической модели 1 отличаются значениями  $C$ , которая принята равной  $0,1, 1,29$  и  $10,0 \text{ г/дм}^3$  (рис. 2, а) и соответствует значениям  $\rho$  песчано-глинистых пород, расположенных слева и справа от нее (рис. 2, а).

Расчеты электротомографических разрезов выполнены в программе ZondRes2D для донной (рис. 2, б) и надводной измерительных установок Шлюмберже (рис. 2, в) с одинаковыми геометрическими параметрами.

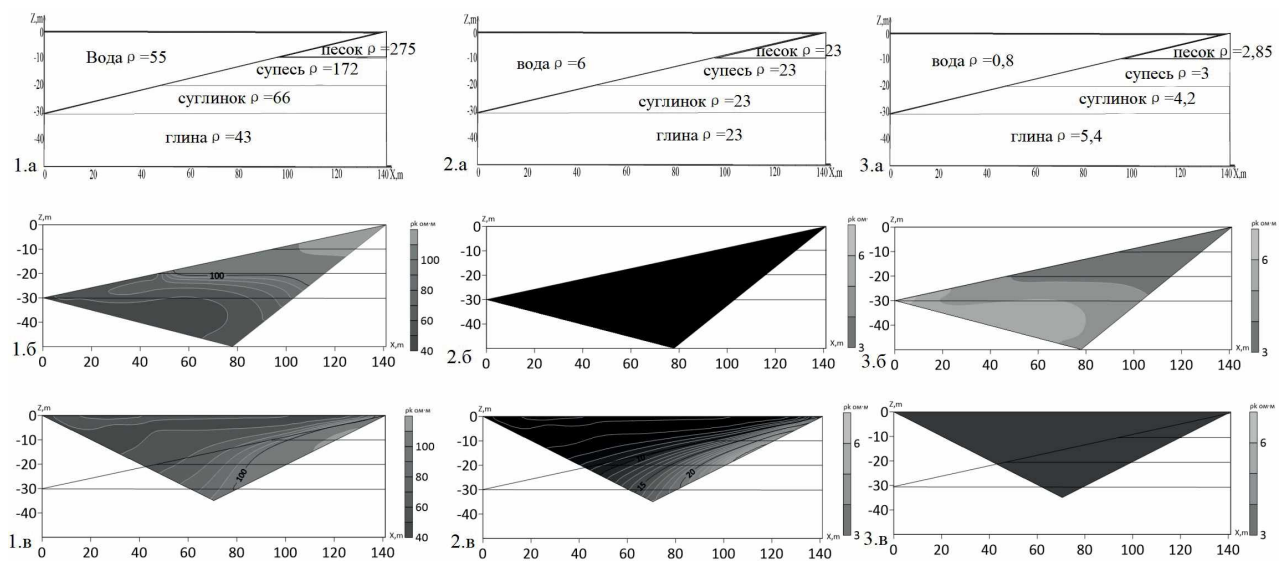


Рис. 2. Геоэлектрические (а) и электротомографические разрезы (б, в) модели 1, для значений минерализации воды  $0,1, 1,29$  и  $10,0 \text{ г/дм}^3$  при наблюдениях с донной (б) и надводной (в) установками Шлюмберже

Результаты моделирования для разновидностей модели 1 показывают, что ДЭТ имеет явные преимущества в сравнении с НЭТ и позволяет получить требуемую геофизическую информацию о геоэлектрическом строении отложений.

Геоэлектрическая модель 2 включает толщину отложений, залегающих на массиве известняков. Полученные для этой модели результаты подтвердили, что ДЭТ наиболее эффективна для изучения строения геологических разрезов поддонных отложений при различной *C*.

Для оценки возможностей ДЭТ для изучения придонных песчано-глинистых отложений выполнены экспериментальные работы в прибрежной акватории Лужской губы Финского залива. Исследования сводились к выполнению корректной межскважинной геологической интерполяции разрезов.

Методика наблюдений ДЭТ базировалась на стандартной электротомографической технологии наблюдений. Для измерения использовалась многоэлектродная электроразведочная аппаратура «Скала 48К12» и электроразведочная коса, размещенная на дне.

Результаты донных электротомографических исследований позволили существенно дополнить и уточнить представления об инженерно-геологическом разрезе для обоснования адекватных проектных решений по сооружению причальных сооружений.

**Благодарности.** Авторы статьи благодарят научного руководителя работ профессора кафедры геофизики Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II В. В. Глазунова и ООО «ГТ МорГео» за предоставленные материалы и помощь в проведении экспериментальных работ.

#### Литература

1. СП 504.1325800.2021 Инженерные изыскания для строительства на континентальном шельфе. – М. : Минстрой России, 2021. – 168 с.
2. *Миринец А. К., Бобачев А. А., Миронюк С. Г.* Выделение мерзлых и газонасыщенных грунтов в Обской губе Карского моря по данным донной электротомографии в комплексе с акустическим профилированием и бурением // *Геофизика*. – 2022. – № 6. – С. 33–41.
3. *Миринец А. К., Рыбалко А. Е., Алешин М. И.* и др. Строение четвертичного покрова Петрозаводской губы Онежского озера по данным сейсмоакустики // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология*. – 2024. – № 1. – С. 123–129.
4. *Матвеев В. С., Рыжов А. А.* Геофизическое обеспечение региональных гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических и геоэкологических исследований // *Разведка и охрана недр*. – 2006. – № 2. – С. 50–57.
5. *Рыжов А. А., Судоплатов А. Д.* Расчет удельной электропроводности песчано-глинистых пород и использование функциональных зависимостей при решении гидрогеологических задач // *Научно-технические достижения и передовой опыт в области геологии и разведки недр*. – М., 1990. – С. 27–41.
6. *Шилин М., Абрамов В., Чусов А.* Геоэкологическая стратегия расширения морского порта Усть-Луга // *Transportation Research Procedia*. – 2021. – Vol. 54. – P. 654–661.

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В ОБЛАСТИ НАКОПЛЕНИЯ, ХРАНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА

В. И. Космаков<sup>2</sup>, И. В. Космаков<sup>1</sup>, А. А. Самсонов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
Москва, iv.kosmakov@gmail.com

<sup>2</sup>ООО НПП «Экоприс», Красноярск, epris@inbox.ru

Добывающая промышленность в Российской Федерации, согласно РОССТАТ, занимает лидирующие позиции в образовании валового внутреннего продукта (ВВП) [5]. Логично предположить, что недропользователи являются одними из крупнейших налогоплательщиков в нашей стране. Основными налоговыми отчислениями в государственный бюджет в области добычи твердых полезных ископаемых являются платы за отходы различных классов опасности.

В настоящий момент одним из основных нормативных документов, регулирующих правовые, экономические и организационные отношения в области добычи полезных ископаемых является Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1 (ред. от 08.08.2024) «О недрах» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024) (далее – закон «О недрах») [2].

Основными отходами, фигурирующими в законе «О недрах», являются отходы недропользования. Понятие «отходы недропользования» дано в преамбуле к закону. «О недрах». В то же время, согласно понятию, данному в ст. 1 Федерального закона от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024) отходы недропользования являются отходами производства и потребления [6]. Согласно ст. 23.5 закона «О недрах» вскрышные и вмещающие горные породы могут являться отходами производства и потребления в ряде случаев, приведенных в той же статье [2].

Отходы недропользования V класса опасности, образовавшиеся при осуществлении пользования недрами на представленном в пользование участке недр, могут быть использованы пользователем недр, осуществляющим разведку и добычу полезных ископаемых или по совместной лицензии на геологическое изучение недр, разведку и добычу полезных ископаемых, могут быть использованы пользователем недр (согласно статье 23.4 закона «О недрах»)[2].

1. Для собственных производственных и технологических нужд.
2. Для ликвидации горных выработок и иных сооружений, связанных с использованием недрами.
3. Для рекультивации земель.

Соблюдение требований и наличие основания использования отходов недропользования V класса опасности, в соответствии со статьей 23.4 закона «О недрах», является обязательным в соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Федерального агентства по недропользованию от 25.04.2023 г. № 247/04 «Об утверждении порядка использования отходов недропользования, в том числе вскрышных и вмещающих горных пород, пользователями недр» [2].

Рассмотрим порядок использования отходов недропользования для двух целей:

- 1) для ликвидации горных выработок и иных сооружений, связанных с использованием недрами;
- 2) для рекультивации земель.

Для осуществления данных работ требуются [2] документы.

1. Лицензия на пользование недрами (в случае ликвидации горных выработок исключени-ем являются случаи в соответствии с ч. 2 ст. 26 Закона Российской Федерации «О недрах»).
2. Технический проект ликвидации горных выработок/рекультивации земель.

Согласно статье 46.1 (п. 1) Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2024) – получение положительного заключения Государственной экологической экспертизы.

В то же время стоит заметить, что большая часть месторождений полезных ископаемых расположены на землях лесного фонда или вблизи водоохраных зон (в частности россыпных месторождений).

Виды использования лесов, т. е. земель лесного фонда, определены ст. 25 Лесного кодекса РФ. Всего данной статьей предусмотрено использование лесов по 15 видам. В соответствии со ст. 25 Лесного кодекса Российской Федерации использование лесов для размещения отходов производства и потребления не предусмотрено (п. 18 Приказа Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 07.07.2020 г.

№ 417 «Об утверждении правил использования лесов для осуществления геологического изучения недр, разведки и добычи полезных ископаемых») [3].

То же справедливо для технического и биологического этапа рекультивации (согласно статье 25 Лесного кодекса РФ и статье 46.1 (п. 3) ФЗ «Об охране окружающей среды» соответственно) [3].

Статьей 65 Водного кодекса Российской Федерации в границах водоохраных зон запрещается размещение объектов размещения отходов производства и потребления (п. 15) и размещение



отвалов размываемых грунтов в границах прибрежных защитных полос (п. 17). В границах водоохранных зон допускаются проектирование, строительство, реконструкция, ввод в эксплуатацию, эксплуатация сооружений для сбора отходов производства и потребления, изготовленные из водонепроницаемых материалов (п. 16) [1].

Исключением в данных случаях являются разве что вскрышные и вмещающие горные породы, но только в тех случаях, если они не признаны отходами производства и потребления.

То есть даже при внесенных в нормативные документы изменениях, учитывая аспекты законодательства в области накопления, хранения и использования отходов недропользования и месторасположения, большинства месторождений в границах земель лесного фонда и водоохранных зонах, получение положительного заключения Государственной экологической экспертизы остается весьма затруднительным. Сложностью являются аспекты в правильном юридическом оформлении и переводе земель из одного вида в другой.

### Литература

1. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024).
2. Закон РФ от 21.02.1992 N 2395-1 (ред. от 08.08.2024) «О недрах» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024).
3. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 08.08.2024) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024).
4. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 07.07.2020 г. № 417 «Об утверждении правил использования лесов для осуществления геологического изучения недр, разведки и добычи полезных ископаемых».
5. Росстат «О производстве и использовании валового внутреннего продукта в 2023 году».
6. Федеральный закон от 24.06.1998 N 89-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об отходах производства и потребления» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.09.2024).
7. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 25.12.2023) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2024).

## АНАЛИЗ ИНДИКАТОРОВ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВЫБОРГСКОГО ЗАЛИВА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ

К. В. Кравцова<sup>1</sup>, С. А. Романюкина<sup>1</sup>, Т. Р. Еремина<sup>1</sup>,  
Д. И. Шарипова<sup>3</sup>, В. М. Егорова<sup>4</sup>, П. О. Адамовская<sup>1,2</sup>, Н. С. Фролова<sup>1</sup>

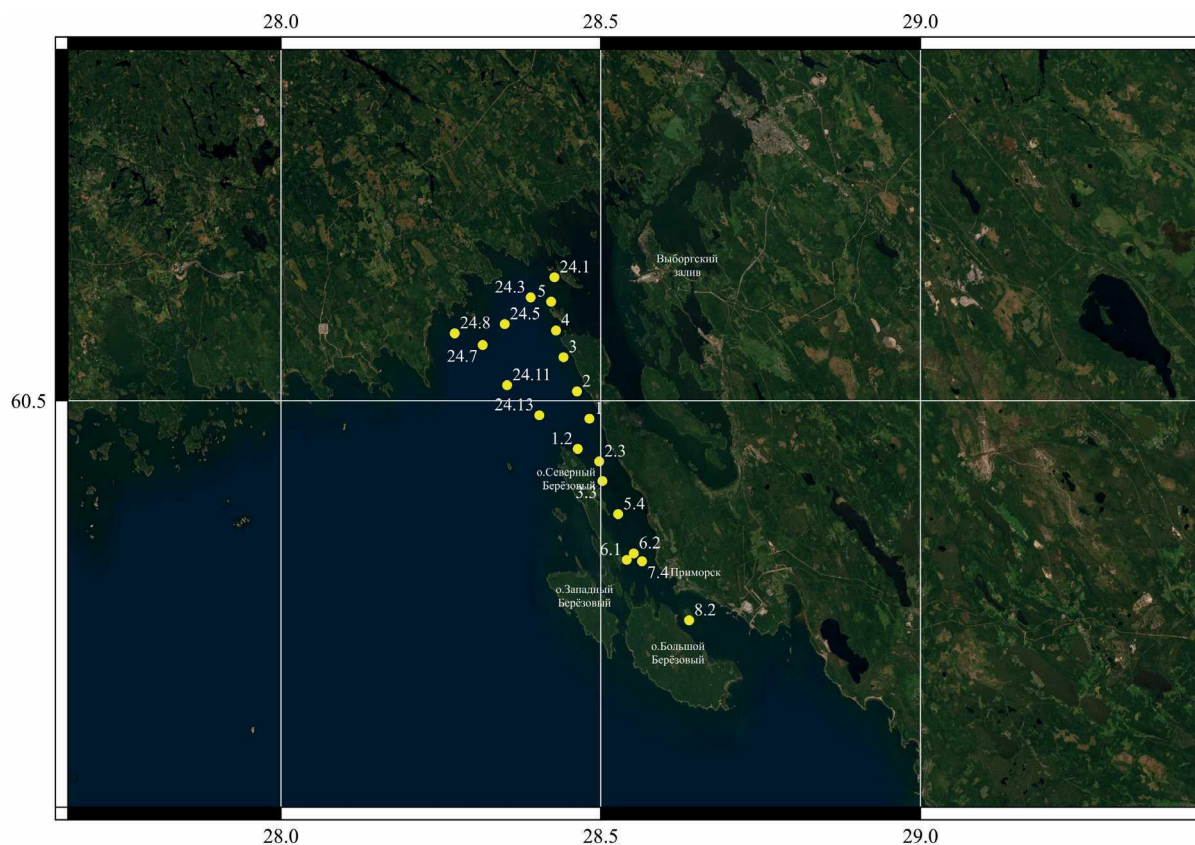
<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет,  
Санкт-Петербург, karkrav08.12@mail.ru

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П. П. Ширинова РАН, Москва

<sup>3</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

<sup>4</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

Финский залив расположен в восточной части Балтийского моря и омывает берега Финляндии, России и Эстонии. Выборгский залив является заливом второго рода, так как входит в состав Финского залива. Его глубина варьируется, но в целом он считается мелководным, имеет сильно изрезанную береговую черту и низкую соленость. Выборгский залив играет важную роль в экосистеме региона, являясь местом обитания для различных видов рыб и птиц. Архипелаг Березовые острова охраняется государством в качестве заповедника для морских птиц и включен в список объектов Рамсарской конвенции в России. Антропогенная нагрузка имеет значительное влияние на экосистему и качество вод этого водоема. В окрестностях залива расположены промышленные предприятия, которые могут сбрасывать сточные воды и отходы, что приводит к загрязнению тяжелыми металлами, химическими веществами и другими токсинами. Такими яркими представителями являются ПАО «Выборгский судостроительный завод», КСПГ «Портовая». В заливе расположены аквакультурные хозяйства, торговый порт Высоцк с круглогодичной навигацией, предназначенный для перевалки навалочных, лесных и различных тарно-штучных грузов, а также более крупный универсальный порт Выборг,



**Рис. 1. Расположение выполненных станций**

специализирующийся на перевалке различных видов генеральных, насыпных и навалочных, пищевых и химических наливных грузов. На побережье всего Финского залива размещаются яхт-клубы, пляжи и туристические базы, которые также оказывают антропогенное воздействие на водную среду залива. Близость нефтеналивного терминала в торговом порту Приморск усугубляет проблему загрязнения в силу того, что возможны утечки и проливы нефтепродуктов.

Важно отметить, что исследования в области гидрохимии Выборгского залива не получают должного внимания, особенно в отношении изучения биогенных элементов, избыточное присутствие которых способствует эвтрофикации водных ресурсов как самого Выборгского залива, так и всего Финского залива, экологическое состояние которого оценивают как неудовлетворительное. Поэтому в рамках программы Плавающего университета и при поддержке Фонда целевого капитала РГГМУ «ЭндауМет» в июне 2024 г. был выполнен ряд исследований на акватории Финского залива, в частности в проливе Бьеркезунд близ островов Большой Березовый и Северный Березовый и непосредственно в Выборгском заливе. Карта выполненных станций измерений представлена на рис. 1. Исследования включали в себя: взятие проб воды и их анализ на содержание растворенного кислорода, неорганических форм фосфора и азота, концентрация хлорофилла-а, прозрачность воды по диску Секки, а также измерения гидрофизических характеристик.

Согласно Плану Действий по Балтийскому морю (ПДБМ), разработанному Хельсинской комиссией [4], выделяют следующие экологические цели и соответствующие им индикаторы эвтрофирования Балтийского моря [1]:

- концентрации питательных веществ, близкие к естественным уровням, отслеживаемые с помощью индикатора «зимние концентрации питательных веществ в поверхностных водах»;
- чистая вода – индикатор «летняя глубина прозрачности воды, измеряемая по диску Секки»;
- естественный уровень цветения водорослей – «индикатор концентрации хлорофилла-а»;
- естественное распределение водных растений и животных – индикатор «диапазон глубин распространения подводной растительности»;

## Установленные целевые значения индикаторов эвтрофирования HELCOM

Индикатор эвтрофирования	Целевое значение
Концентрация растворенного кислорода, мл/дм <sup>3</sup>	2,17
Общий фосфор, $\mu\text{моль/л}$	<0,56
Общий азот, $\mu\text{моль/л}$	<22,15
Хлорофилл а, $\mu\text{г/л}$ (летние значения, июнь – сентябрь)	<4,37
Прозрачность по диску Секки, м (летние значения, июнь – сентябрь)	5,42

– естественный уровень кислорода – индикатор «площадь и продолжительность сезонного истощения кислорода».

При анализе индикаторов эвтрофирования на основе собранных данных предполагается опираться на целевые значения, принятые HELCOM, которые указаны в таблице [5].

Некоторые из полученных данных являются прямыми индикаторами эвтрофирования вод, такие как содержание хлорофилла-а, прозрачность. Однако оценка по запасам биогенных соединений должна производиться по их зимним запасам. Вместе с тем, если в поверхностном слое воды будут минимальные концентрации биогенов или же вообще их отсутствие, это может означать, что идет бурный процесс развития фитопланктона, который использует биогенные элементы для роста. В придонном слое ситуация противоположная, если наблюдаются большие значения концентраций биогенных соединений, то можно говорить о значительных запасах на дне и в донных отложениях. В гипоксических условиях происходит дополнительное поступление соединений фосфора из донных осадков. Так, например, возникновение анаэробных условий и «цветение» сине-зеленых водорослей часто рассматривают в качестве индикаторов антропогенного воздействия, приводящих к эвтрофикации [3].

На основе полученных данных были построены графики распределения различных характеристик, необходимых для изучения экологического состояния акватории Выборгского залива. Результаты представлены на рисунках 1–3.

Так, на графике распределения концентрации Хлорофилла-а (см. рис. 2) на некоторых станциях наблюдаются значительные превышения целевого значения, установленного HELCOM, а именно в точках 7.4, 5, 24.4, 24.3 и 24.2, причем максимальное значение отмечалось на ст. 5, находящейся между о. Маячный и о. Вихревой, и составило 11,59  $\text{мг/м}^3$ , где наблюдаются залежи Балтийской кольчатой нерпы, а второй максимум на ст. 7.4, которая находится близ побережья Приморска.

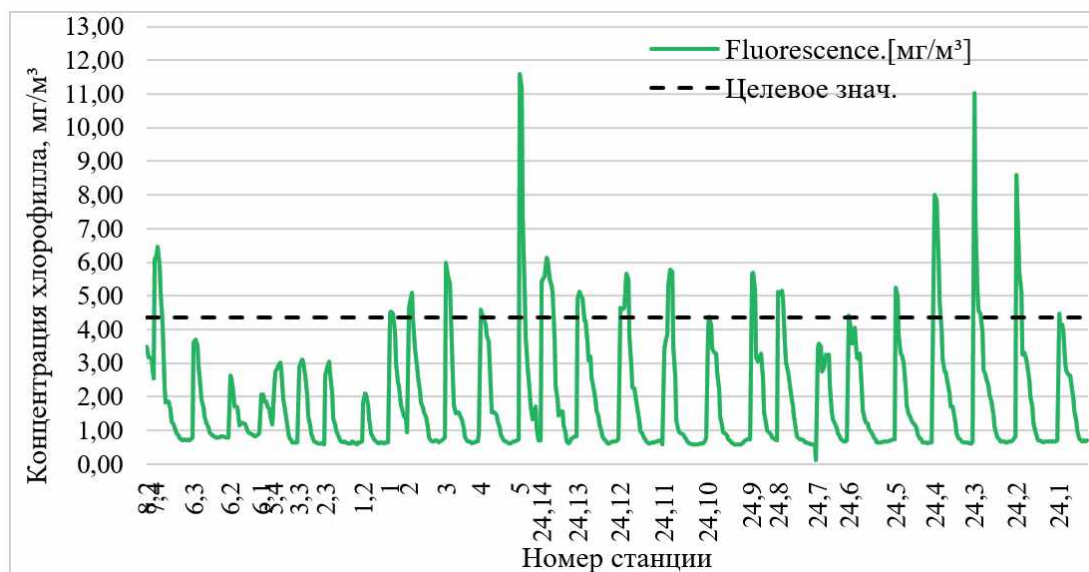


Рис. 2. Распределение концентрации Хлорофилла-а по станциям

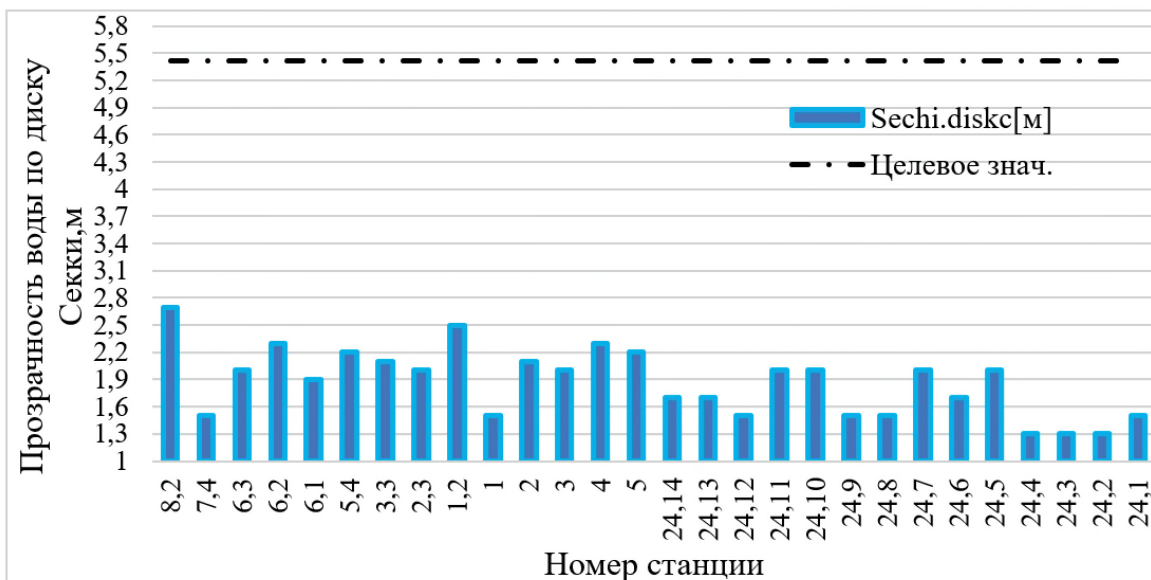


Рис. 3. Распределение прозрачности воды на станциях

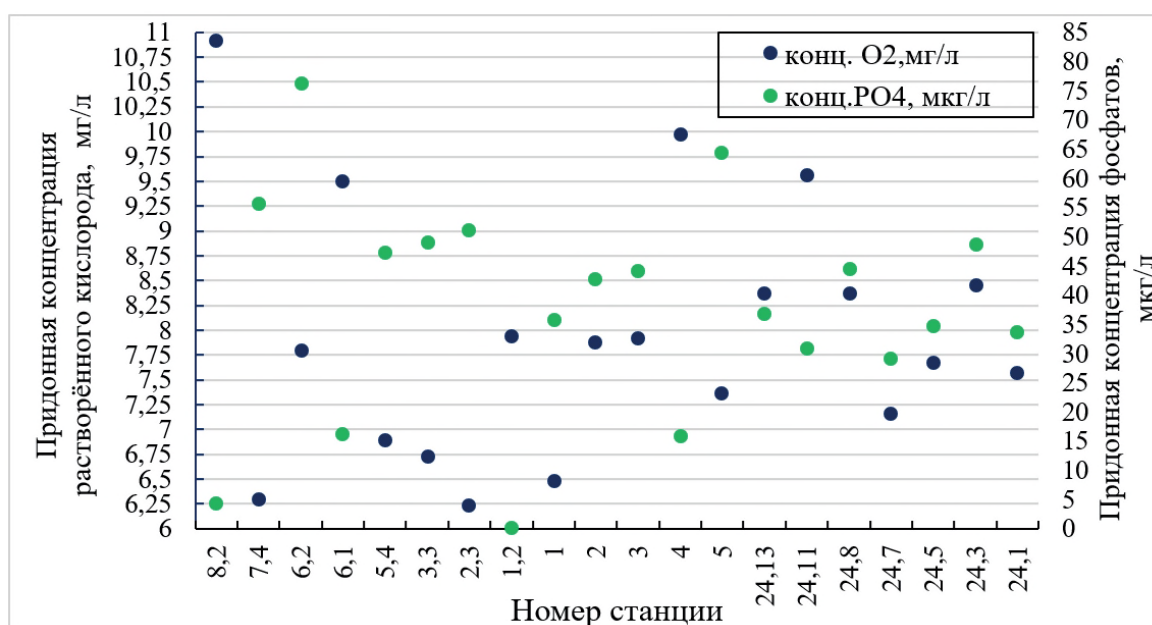


Рис. 4. Распределение придонных концентраций растворенного кислорода и фосфатов на станциях измерений

Хуже всего ситуация обстоит с прозрачностью воды, определяемой по белому диску Секки, т. к. все ее значения существенно меньше целевого уровня. Наибольшая величина прозрачности наблюдалась на станции 8.2 (глубина 9 м) и имела значения 2,7 м, минимум 1,3 м был на ст. 24,4–24,2. Это может быть связано с интенсивным развитием фитопланктона и сильным взмучиванием воды вследствие ветрового воздействия.

На рис. 4 представлено взаимное распределение содержания придонного растворенного кислорода, фосфатов и солёности по станциям. Нименьшее значения концентрации растворенного кислорода отмечалось на ст. 2.3 (глубина 24 м) и составило 6,23 мг/дм<sup>3</sup> при содержании фосфатов 51,09 мкг/дм<sup>3</sup> и солёности 5.83 psu. Второй же минимум был на ст. 7.4 (глубина 26 м) и имел значение 6,30 мг/дм<sup>3</sup> при концентрации фосфатов 55,55 мкг/дм<sup>3</sup> и солёности 3.30 psu. Таким образом, в целом кислородные условия на исследуемой акватории можно считать в пределах нормы для водоемов рыбохозяйственного значения в соответствии с [2].

## Литература

1. *Карл Г.* Предсказания продукции фитопланктона по показаниям среды обитания // Тезисы доклада II Международного океанографического конгресса. – М. : Наука, 1966. – С. 188–189.
2. Руководящий документ РД 52.24.419-2019 «Массовая концентрация растворенного кислорода в водах. Методика измерений йодометрическим методом» (Росгидромет, ФГБУ «ГХИ»). – Ростов-на-Дону, 2019. – 27 с.
3. *Савчук О. П.* Исследования эвтрофикации Балтийского моря // Труды ГОИН. – 2005. – Т. 209. – С. 272–285.
4. HELCOM Baltic Sea Action Plan – 2021 update // HELCOM. – 2021.
5. HELCOM 2007. Baltic Sea Action Plan. – Helsinki: Helsinki Commission Publ., 2007. – 103 p.

## СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА В ИСТОЧНИКАХ ВОДЫ ПИТЬЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ГОРОДА ТЮМЕНЬ

Е. В. Крестьянникова<sup>1,2</sup>, А. Беляновская<sup>1</sup>, Н. В. Барановская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

<sup>2</sup>Тюменский государственный университет, Тюмень, li3452@yandex.ru

Риски для здоровья населения, связанные с качеством питьевой воды, могут усугубляться под влиянием геохимических аномалий, которые влияют на состав природных вод [1]. В статье рассматривается Тюменская городская агломерация, на территории которой находится железомарганцевая геохимическая аномалия [2; 3]. Повышенные концентрации Fe, Mn в воде из различных источников водоснабжения представляют потенциальную угрозу для здоровья населения и требуют проведения комплексной оценки риска [4; 5].

Fe, Mn относятся к распространенным элементам, которые при повышенных концентрациях могут оказывать негативное влияние на организм человека, приводя к различным патологическим состояниям [6–8]. В соответствии с действующими санитарными нормами, предельно допустимые концентрации (ПДК) для железа и марганца в питьевой воде установлены для минимизации их воздействия на здоровье [9]. Однако на территории Тюменской городской агломерации наблюдается превышение ПДК: в 10 раз и больше для железа в воде из скважин и в 2 раза и больше для марганца [3; 10; 11]. Такая ситуация обуславливает необходимость оценки неканцерогенных рисков для населения, особенно при употреблении воды из нецентрализованных источников [12].

**Материалы и методы.** *Отбор и анализ проб воды.* В ходе исследования был проведен анализ химического состава (159 проб) воды из действующих частных скважин и колодцев (нецентрализованные источники водоснабжения) и водопровода Тюменской городской агломерации в соответствии с проверенными методическими рекомендациями [13]. Пробы отбирались через регулярные промежутки времени в течение 1 года. Образцы были разделены на две группы: водопроводная вода, взятая у населения (27 образцов), и вода, взятая из частных колодцев (132 образца). Глубина колодцев, ставших объектом исследования, достигала 20 м.

**Сезонная вариация параметров химического состава рассчитывалась для проб воды из скважин.** Отбор проб воды осуществлялся в период с 2018 по 2022 г., в соответствии с российским стандартом [13]. В рамках исследований, проводимых Научно-исследовательским институтом экологии и рационального использования природных ресурсов Тюменского государственного университета был проведен количественный химический анализ (КХА). Анализируемые параметры включали общее железо, определяемое методом массовой концентрации с сульфосалициловой кислотой, содержание марганца, определяемое методом окисления до перманганат-ионов, перманганатный индекс, водородный индекс и общую жесткость воды. Во всех пробах воды определяли концентрацию общего Fe (методом сульфосалициловой кислоты), Mn (методом перманганатной окисляемости), перманганатную окисляемость, рН и общую жесткость воды. Для формирования данных о сезонной изменчивости параметров, проанализированных в воде в зависимости от гидрологического режима, мы опирались на характеристики различных периодов года и соответствующие им месяцы. Данные были структурированы следующим образом:

– Снеготаяние – март–май;

- Летняя межень – июнь–август;
- Осенний подъем воды: сентябрь, октябрь;
- Зимняя межень – ноябрь–январь.

В период снеготаяния и летней межени наблюдаются повышенные концентрации металлов и органических веществ. Анализ сезонной изменчивости (рис. 1) показывает, что наибольшие значения Fe наблюдаются во время снеготаяния, а концентрации Mn остаются практически стабильными. Уровень pH находится в пределах нормы и меняется незначительно в течение 1 года. Наиболее нейтральные условия наблюдаются летом и осенью. Наибольшие значения перманганатной окисляемости отмечаются летом и осенью. Жесткость воды увеличивается в периоды снеготаяния и летней межени (рис. 2).

Отмечается взаимосвязь между концентрациями Fe и органических веществ (перманганатная окисляемость – ПО (PI)), особенно в период снеготаяния, когда наблюдается максимальный уровень железа и ПО. Железо, возможно, высвобождается из почвы в результате таяния снега и активной биологической деятельности.

Зависимость между содержанием Fe и показателем перманганатной окисляемости может свидетельствовать о том, что железо присутствует в воде в форме органожелезных комплексов. Fe может связываться с органикой, образуя комплексы, которые удерживают его в растворенной форме. Гуминовые кислоты связывают большое количество Fe(II), влияя на видовую структуру и биодоступность Fe(II) в торфяниках и водно-болотных угодьях, причем карбоксильные группы играют основную роль при кислых и нейтральных pH. Fe в воде может также катализировать окислительные процессы, что влияет на степень перманганатного окисления [3]. Регрессия между железом и органикой может быть обусловлена как образованием комплексов, так и каталитической активностью железа.

Отрицательная корреляция между концентрацией Mn и величиной pH согласуется с тем, что Mn в воде чаще всего присутствует в растворимой форме –  $Mn^{2+}$ , что реализуется только в кислой среде. При повышении pH Mn может переходить в нерастворимые формы, такие как оксиды и гидроксиды, осажаясь из воды [14].

Тюменская область, как и многие северные регионы России, характеризуется большим количеством болот, что оказывает значительное влияние на концентрацию металлов в воде [1; 15]. В болотах Тюменской области формируются специфические органические вещества, которые оказывают влияние на концентрацию и растворимость металлов. Гуминовые и фульвокислоты, образующиеся при разложении растительных остатков, могут связывать металлы такие как Fe, Mn [7] в хорошо растворимые комплексы, что повышает их миграционную способность, так как данные комплексные соединения хорошо растворимы в воде. Отсюда следует, что повышение показателей перманганатного окисления напрямую связано с количеством органических ионов, а также может быть использовано для описания возрастания железа +2, которое

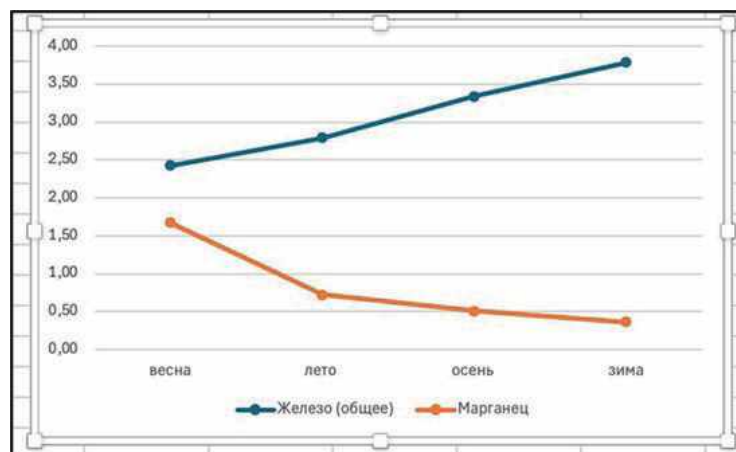
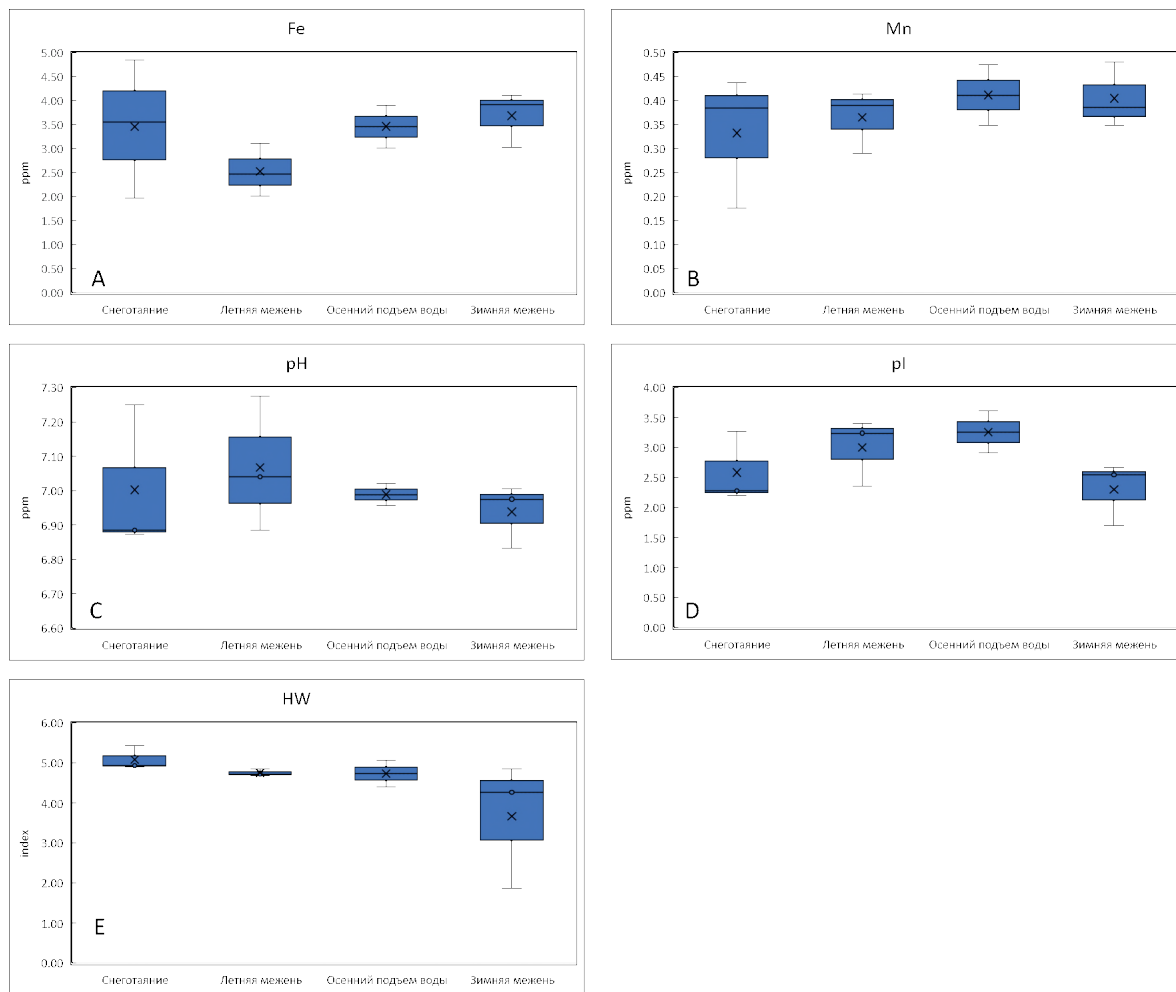


Рис. 1. Диаграмма изменения значений Fe и Mn по сезонам



**Рис. 2. Сезонная изменчивость показателей химического состава воды из нецентрализованных источников водоснабжения**

*A* – концентрация Fe, ppm, *B* – концентрация Mn, ppm, *C* – pH, *D* – pI – перманганатная окисляемость, ppm, *E* – HW – жесткость воды, index – градусы жесткости

способно к окислительно-восстановительным реакциям. Так как  $Fe^{+2}$  является более биодоступным ионом по сравнению с  $Fe^{+3}$ , то это означает, что воды с повышенным содержанием ПО имеют больший фактор влияния на здоровье человека.

Вода болот содержит растворимые органические вещества, включая низкомолекулярные органические кислоты и продукты разложения растительного материала. Эти вещества могут взаимодействовать с Fe, Mn, увеличивая их подвижность и биодоступность [16]. Торф, являясь основным органическим компонентом болот, также способствует накоплению металлов в водной системе. В болотах преобладают анаэробные условия, способствующие разложению органики и образованию метана. Эти процессы влияют на гидрогеохимические условия, которые в свою очередь определяют поведение металлов в водных объектах. Формирование металлоорганических комплексов и изменение растворимости металлов происходят под влиянием условий, характерных для болот [17].

Наибольшее влияние на неканцерогенный риск оказывают концентрации железа и марганца в питьевой воде. Эти факторы необходимо учитывать при разработке мер по управлению рисками и контролю качества воды. На концентрацию металлов в воде существенно влияют такие параметры, как pH, взаимодействие с органическими веществами и региональные особенности, включая наличие болот и торфяников в Тюменской области. Таким образом, для минимизации риска воздействия железа и марганца на здоровье необходимо уделять внимание комплексному контролю качества воды, включая мониторинг pH, содержания органических веществ и металлов.

## Литература

1. Kleyn S. V., Vekovshinina S. A. Priority risk factors related to drinking water from centralized water supply system that create negative trends in population health // *Health Risk Analysis*. – 2020. – No. 3. – P. 49–60.
2. Ермакова Н. А. и др. Гидрохимическое состояние тюменских источников хозяйственно-питьевого водоснабжения в весенне-летний период // *Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование*. – 2014. – № 12. – С. 138–149.
3. Жилияков Е. В., Монахова С. А., Гузеева С. А. Анализ геоэкологической ситуации в водных объектах Тюменской области и города Тюмени // *Успехи современного естествознания*. – 2019. – № 5. – С. 47–52.
4. Корниенкова А. А., Акатьева Т. Г. Качество воды рек Иртышского бассейна в пределах Тюменской области // *Достижения молодежной науки для агропромышленного комплекса: Сборник трудов LVII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Т. 3. – 2023. – С. 123–128.
5. Корчина Т. Я. и др. Сравнительные показатели содержания железа и марганца в волосах у женщин северного региона с различной очисткой питьевой воды // *Экология человека*. – 2018. – № 4. – С. 4–9.
6. Egorova N. A., Kanatnikova N. V. Iron Metabolism in the Human Body and its Hygienic Limits for Drinking Water. Review. Part 1 // *Hygiene and sanitation*. – 2020. – No. 4 (99). – P. 412–417.
7. Alberts J. J., Filip Z. Metal Binding in Estuarine Humic and Fulvic Acids: FTIR Analysis of Humic Acid-Metal Complexes // *Environmental Technology*. – 1998. – No. 9 (19). – P. 923–931.
8. Сыталов С. А. и др. Оценка загрязнения торфа некоторыми тяжелыми металлами в зависимости от глубины залегания // *Химия твердого топлива*. – 2020. – № 1. – С. 38–42.
9. Maximum Permissible Concentrations (PDK) of Chemical Elements in Soils: Hygienic Regulations [Predelno dopustimye kontsentratsii PDK khimicheskikh elementov v pochvakh Gigienicheskie normativy]. – 2006. – P. 15.
10. Tairova A. R., Mukhamedyarova L. G., Kozjar Y. V. Assessing the environmental status of the river tours in the conditions of anthropogenic impact // *Vestnik NC BZhD*. – 2015. – No. 26 (4). – P. 138–141.
11. Акатьева Т. Г. Санитарно-гигиеническая характеристика питьевой воды г. Тюмени // *Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья*. – 2016. – № 35 (4). – С. 6–13.
12. Янкович Е. П. и др. Химический состав подземных вод как фактор риска для здоровья населения (на примере Томского района Томской области) // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 3. – С. 786.
13. ГОСТ Р 51593-2000. Государственный стандарт «Вода питьевая». Отбор проб.
14. Phukan B., Patel A. B., Mukherjee C. A water-soluble and water-coordinated Mn complex: synthesis, characterization and phantom MRI image study // *Dalton Transactions*. – 2015. – No. 29 (44). – P. 12990–12994.
15. Pereladova L. V. Jekologicheskoe sostojanie istochnikov hozjajstvenno-pit'evogo vodosnabzhenija goroda Tjumeni // *Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta*. – Serija : Jekologija. – 2011. – No. 12. – P. 173–178.
16. Шурова М. В. и др. Химический состав вод торфяно-болотных экосистем Горного Алтая // *Вестник Томского государственного педагогического университета*. – 2009. – № 3. – С. 95–101.
17. Soldatova E. A., Sidkina E. S., Savichev O. G. Modeling the changes of geochemical conditions under municipal sewage discharge on the example of Obskoye fen (Western Siberia) // *Geosfernye issledovaniya*. – 2022. – No. 1. – P. 126–136.

## ГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ БЕРИНГОВА МОРЯ И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

Е. А. Лопатников, В. В. Саттарова, К. И. Аксентов

<sup>1</sup>*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского, Санкт-Петербург,*

<sup>2</sup>*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН, Владивосток, lopatnikov@poi.dvo.ru*

Субарктическое Берингово море, переходный регион между Тихим и Северным Ледовитым океанами, является ключевой областью, характеризующейся высокопродуктивной и чувствительной динамикой экосистемы. От Тихого океана оно отделено Алеутскими и Командорскими островами, образующими естественную границу. Максимальная глубина моря достигает 4420 м. Гидрологический режим Берингова моря формируется под влиянием субарктического климата, характера водообмена с Чукотским морем и Тихим океаном, рельефом дна, материковым стоком и сезонным опреснением поверхностных вод, вызванным таянием льдов. Основной приток терригенного материала осуществляется через крупные реки – Анадырь, Юкон и Кускоквим, которые дренируют две трети общей площади водосборного бассейна моря.



Благодаря своему уникальному географическому положению, сезонному появлению морского льда, высокой первичной продукции и богатому биологическому разнообразию, Берингово море играет важную роль в глобальном углеродном биогеохимическом цикле. Органический углерод в свою очередь участвует в процессе биодоступности и метилирования неорганической ртути. Оба этих элемента преимущественно мигрируют в газообразном состоянии и, распространяясь в атмосфере, становятся глобальными загрязнителями.

Накопление тяжелых металлов (ТМ) часто связано с деятельностью человека, такой как добыча полезных ископаемых, промышленные процессы и сжигание ископаемого топлива. Однако они также могут встречаться в окружающей среде естественным образом, например, в результате выветривания горных пород или вулканической активности. Известно, что некоторые металлы, такие как ртуть и свинец, токсичны для широкого спектра морских организмов и могут накапливаться в пищевой цепи. Другие металлы, такие как железо и цинк, являются важными питательными веществами для морских организмов, но также могут оказывать токсическое воздействие при высоких концентрациях. При этом, например, свинец, кадмий и цинк устойчивы в окружающей среде и способны накапливаться в живых организмах, что представляет собой серьезную экологическую проблему.

Целью данной работы являлось определение элементного состава донных отложений, закономерностей распределения ТМ, оценка геохимического фона ТМ, т. е. тех концентраций, которые были накоплены в доиндустриальный период. В работе использованы образцы поверхностных осадков, полученные в ходе научных экспедиций в 2013 (LV63) и 2022 (LV95) гг. на НИС «Академик М. А. Лаврентьев», а также на НИС «Иван Киреев» в 2021 г. и керн донных отложений (LV95-5), который датирован радиоизотопным методом на основе свинца-210 (рис. 1).

Анализ гранулометрического состава проб выполнялся на лазерном анализаторе размерности частиц ANALYSETTE 22 (FRITSCH, Германия) по отработанной методике. Содержание общего органического углерода было определено на анализаторе TOC-VCPN с приставкой для сжигания твердых проб SSM-5000A (SHIMADZU, Япония), определение ртути – на атомно-абсорбционном спектрометре RA915M с пиролитической приставкой ПИРО915+. Общ

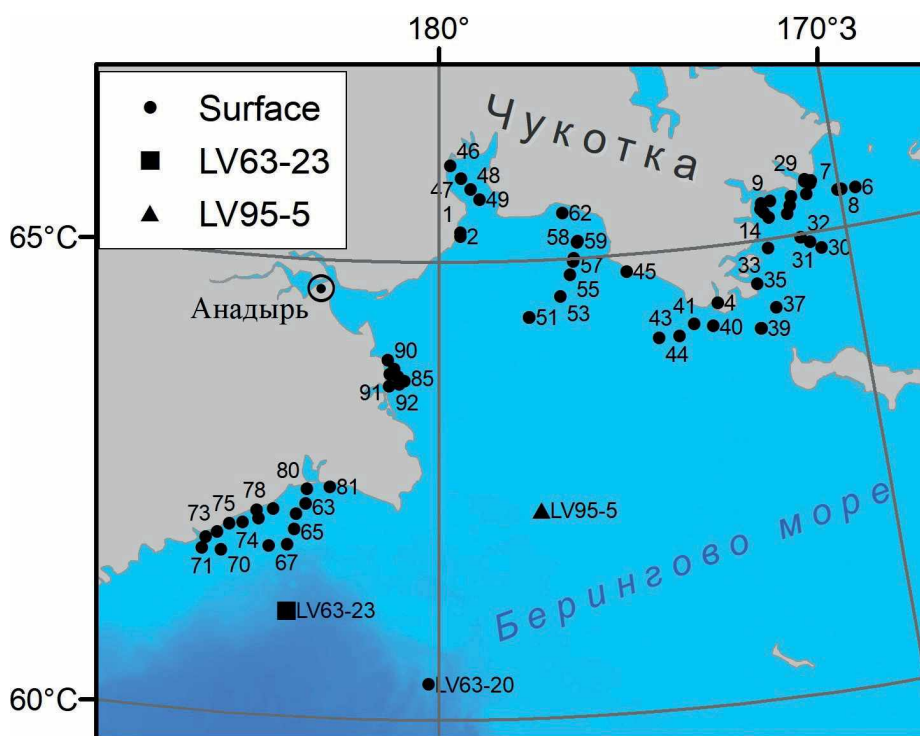


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб донных отложений

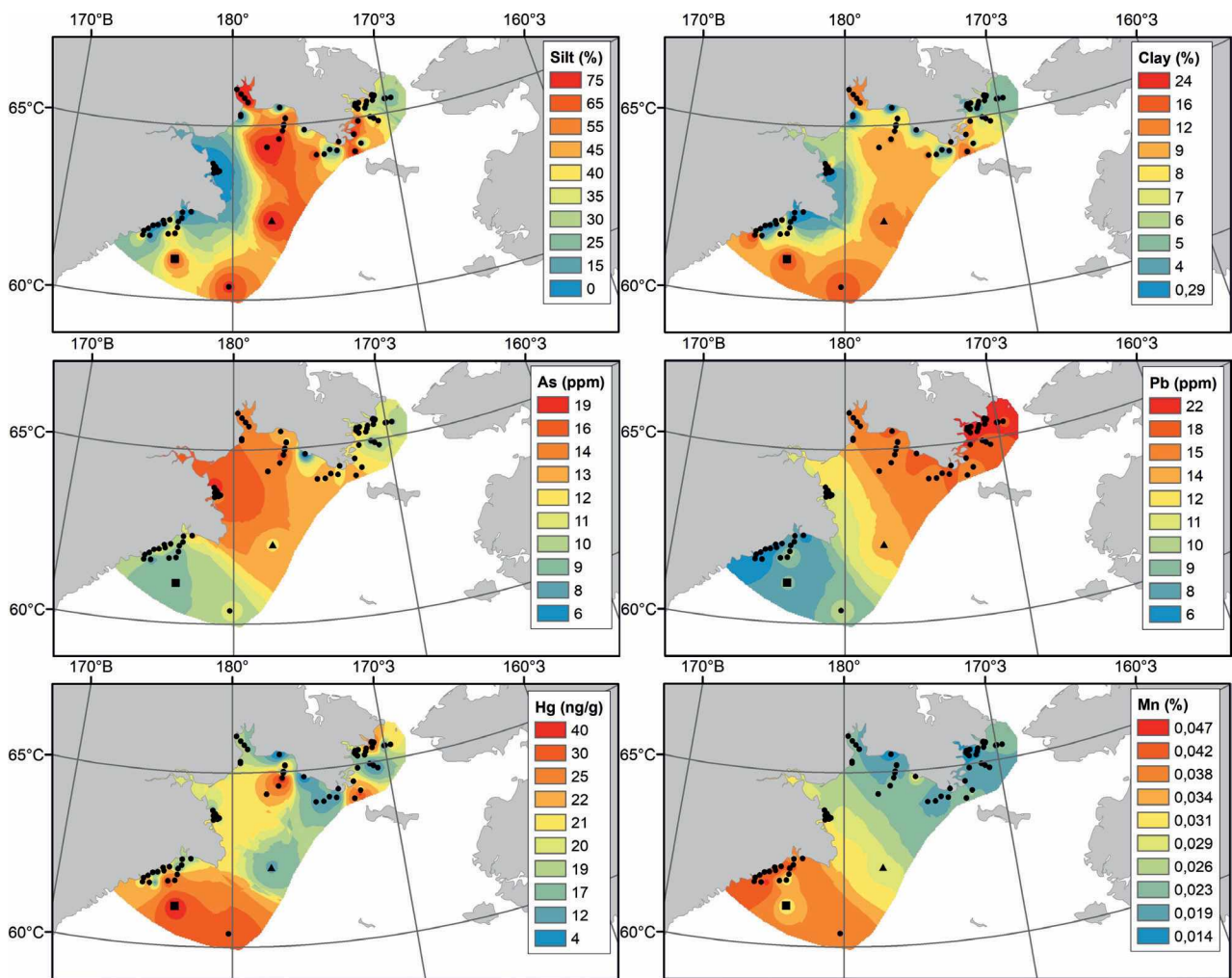


Рис. 2. Распределение гранулометрического и химического составов в поверхностных донных отложениях

химический анализ выполнялся на рентгенофлуоресцентном спектрометре Delta DPS 2000 (Olympus, Япония), а также в Центре коллективного пользования ДВГИ ДВО РАН методом ИСП-МС на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500 с (Agilent Technologies, США) с использованием в качестве внутреннего стандарта  $^{115}\text{In}$  при конечной концентрации его в растворе 7–10 % и методом ИСП-АЭС на спектрометре iCAP 6500Duo (Thermo Electron Corporation, США) с добавлением внутреннего стандарта раствора кадмия (концентрация 4–10 %). Правильность определения содержания элементов подтверждена анализом ГСО осадочных отложений: ООПЕ 402 (ил кремнистый) и ООПЕ 201 (ил вулканно-терригенный).

Донные отложения Берингова моря серо-зеленого до темно-серого цвета, мягкие. По гранулометрическому составу поверхностные осадки относятся к алевритопелитам, в прибрежной части – осадок песчанистый разномерный, серо-коричневый, с преобладанием средних и крупных частиц, плохо сортированный, с включениями гравия и редкими включениями гальки (до 2 см в диаметре). Исследуемые отложения относятся к терригенным с незначительным содержанием диатомей и их обломков, спикул губок. В поверхностных осадках Берингова моря средние концентрации ртути составляют 26 мкг/кг, мышьяка – 11,1 мг/кг, свинца – 13,97 мг/кг, марганца – 41,1 мг/кг (рис. 2). По данным Wedepohl (1995), средняя концентрация As составляет 2,0 мг/кг, Pb – 17 мг/кг и Hg – 56 мкг/кг.

Согласно проведенной датировке колонки LV95-5, средняя скорость осадконакопления в Беринговом море составила на горизонте 0–6 см – 0,30 см/год и на горизонте 6–20 см – 0,13 см/год, что согласуется с данными, полученными для колонки LV63-3. Для оценки степени аномальности тяжелых металлов в донных отложениях использовали коэффициент обогащения, (EF).

Средние фоновые значения для изученных осадков составляли: Al (5,4 %), As (3,8 мг/кг), Cd (0,28 мг/кг), Cu (20,1 мг/кг), Cr (65,4 мг/кг), Ni (25,2 мг/кг), Zn (75,5 мг/кг) и Pb (7,86 мг/кг), Hg (43 мкг/кг). Согласно полученным результатам, EF осадки исследуемого района характеризуются незначительным обогащением As и Cu (EF = 2), скорее всего это связано с влиянием природных факторов. По остальным элементам  $EF \leq 1$ , что указывает на отсутствие обогащения.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-77-10058, <https://rscf.ru/project/24-77-10058/>*

### Литература

1. Аникиев В. В., Дударев О. В., Колесов Г. М. и др. Распределение и седиментационные потоки химических элементов в системе взвесь–донные осадки для эстуария р. Анадырь–Берингово море // *Геохимия*. – 1997. – № 3. – С. 320–330.
2. Боцун А. И. Лазерный измеритель размеров частиц «Analysette 22»: достоинства, недостатки и некоторые особенности использования при анализе донных осадков // *Условия образования донных осадков и связанных с ними полезных ископаемых в окраинных морях*. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – С. 114–118.
3. Лисицын А. П. Процессы современного осадкообразования в Беринговом море. – М. : Наука, 1966. – 574 с.
4. Grebmeier J. M., Overland J. E., Moore S. E. et al. A major ecosystem shift in the northern Bering Sea // *Science*. – 2006. – Vol. 311. – P. 1461–1464.
5. Hu L., Liu Y., Xiao X. et al. Sedimentary records of bulk organic matter and lipid biomarkers in the Bering Sea: A centennial perspective of sea-ice variability and phytoplankton community // *Marine Geology*. – 2020. – Vol. 429, no. 106308.
6. Loring D. H. Normalization of heavy-metal data from estuarine and coastal sediments // *ICES J. Mar. Sci.* – 1991.
7. Sigler M. F., Harvey H. R., Ashjian J. et al. How does climate change affect the Bering Sea ecosystem? // *EOS Trans. Am. Geophys. Union* 91. – 2010. – P. 457–458.
8. Varol M. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques // *J. Hazard. Mater.* – 2011.
9. Wedepohl K. H. The Composition of the Continental Crust // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1995. – Vol. 59. – P. 1217–1232.
10. Yan Lin, Zhai Wu, Hongwei Ke et al. Heavy metals and Pb isotopes in sediment cores from the Bering and Chukchi seas: Implications for environmental changes and human activities over the past century // *Marine Environmental Research* – 2023. – 191. – 106–129 p.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ КОЛОНОК ДОННЫХ ОСАДКОВ (РУДНОЕ ПОЛЕ АШАДЗЕ-1, СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКИЙ ХРЕБЕТ)

А. М. Маковиз<sup>1</sup>, Г. А. Черкашев<sup>2,3</sup>

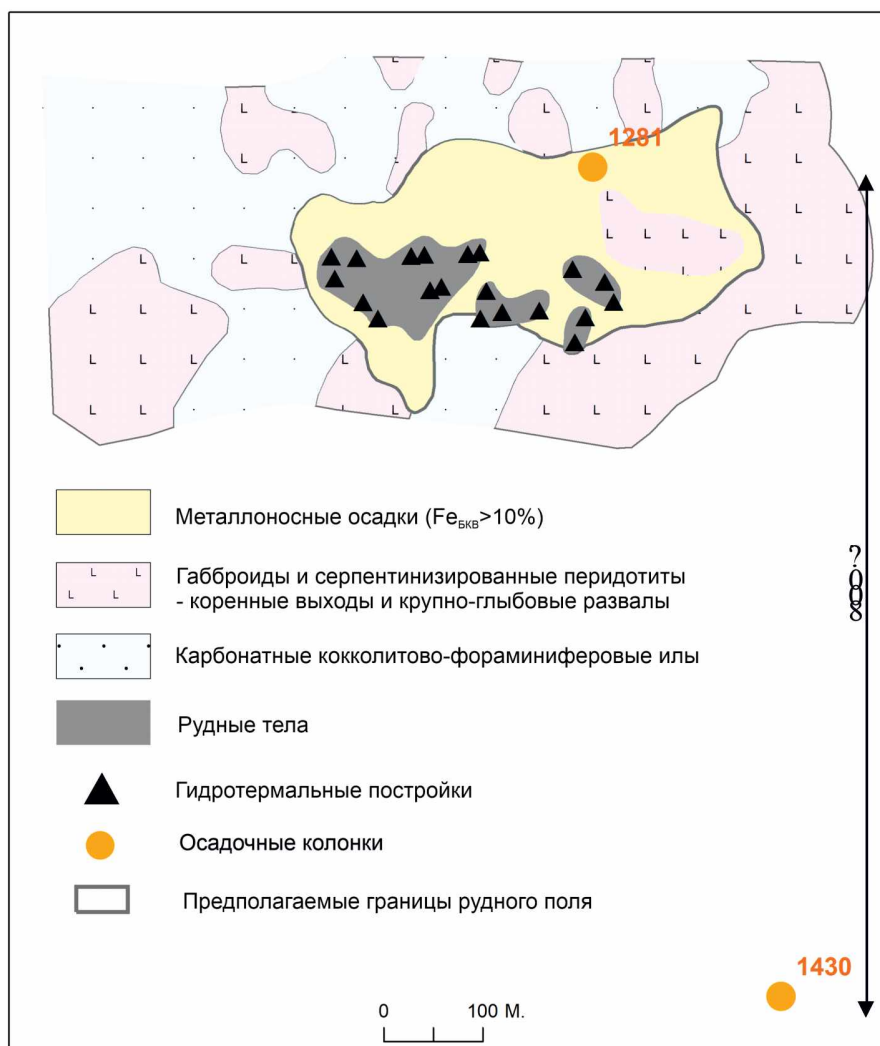
<sup>1</sup>*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, arsenii.makoviz@gmail.com*

<sup>2</sup>*ФГБУ «ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург*

<sup>3</sup>*Институт Наук о Земле РАН, Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, gcherkashov@gmail.com*

Рудное поле Ашадзе-1 открыто в Российском разведочном районе Срединного–Атлантического хребта в 2003 г. Рудное поле размерами 450 × 350 м расположено на глубине 4100–4200 м на западном склоне рифтовой долины в зоне пересечения краевого глубинного разлома с зоной субширотных тектонических деформаций. Подстилающие породы представлены габбро-перидотитами, перекрытыми карбонатными осадками. В пределах поля выявлено несколько рудных тел, а также современная гидротермальная активность [1].

Объектом исследования являлись две осадочные колонки, полученные в совместной экспедиции АО «ПМГРЭ» и ФГБУ «ВНИИОкеангеология» на НИС «Профессор Логачев». Химико-аналитические исследования выполнены в лаборатории ФГБУ «ВСЕГЕИ». Геохронологические датировки U/Th<sup>230</sup> методом выполнены в Институте наук о Земле СПбГУ.



**Рис. 1. Расположение колонок и рудного поля Ашадзе-1 ([1] с дополнениями)**

Изученные колонки, положение которых показано на рис. 1, отобраны в 100 м (ст. 1281) и в 800 м (ст. 1430) от рудного поля и имеют длину 260 и 145 см соответственно.

Осадки представлены карбонатным алевропелитовым (ст. 1281) и пелитовым (ст. 1430) илом с примесью грубозернистого материала в нижней части обеих колонок.

Данные о карбонатности и содержаниях металлов в осадках в пересчете на бескарбонатное вещество (БКВ) представлены в табл. 1 и 2.

Пересчет концентраций металлов на бескарбонатное вещество производится для возможности сравнения их содержаний в осадках различной степени карбонатности, исходя из допущения об отсутствии накопления металлов в карбонатной матрице. К категории «металлоносных осадков» относятся отложения с содержанием железа более 10% (в пересчете на БКВ) [2], к категории «металлосодержащих» с содержанием железа от 5 до 10% (в пересчете на БКВ).

В вертикальном разрезе колонки 1281 (табл. 1, рис. 2) металлоносные осадки выделяются в интервалах 0–3, 20–30 и 40–50 см. Остальные осадки можно отнести к категории металлосодержащих. В поверхностном горизонте 0–3 см также отмечаются высокие содержания меди, что, согласно принятой классификации, позволяет относить их к рудным осадкам ( $Fe_{бкв} \geq 10\%$ ,  $(Cu + Zn)_{бкв} > 0,25\%$ ).

В колонке 1430 горизонты с металлоносными осадками выделяются в интервалах 50–60, 80–90, 90–100 и 100–110 см (табл. 2, рис. 2). В горизонте 110–130 см отмечены высокие содержания меди и цинка.

Таблица 1

Содержания CaCO<sub>3</sub> и металлов (Fe, Cu, Mn, Co и Ni) в пересчете на БКВ в осадках колонки 1281 (в %)

Горизонт, см.	CaCO <sub>3</sub>	Fe	Zn	Cu	(Cu + Zn)	Mn	Co	Ni
0–3	73	<b>15,11</b>	0,0001	<b>0,366</b>	<b>0,366</b>	0,284	0,015	0,009
3–10	65	9,74	0,0001	0,283	0,283	0,219	0,011	0,009
10–20	71	9,35	0,0001	0,170	0,170	0,316	0,014	0,010
20–30	74	<b>13,02</b>	0,0002	0,152	0,152	0,293	0,015	0,011
30–40	58	9,71	0,0001	0,118	0,118	0,219	0,009	0,012
40–50	48	<b>10,48</b>	–	0,114	0,114	0,221	0,008	0,011
50–60	46	7,70	–	0,112	0,112	0,173	0,008	0,011
70–80	43	7,29	–	0,088	0,088	0,164	0,007	0,018
80–92	27	5,67	–	0,017	0,017	0,128	0,006	0,014
92–100	44	7,41	–	0,018	0,018	0,209	0,007	0,054
110–120	43	9,70	–	0,071	0,071	0,164	0,007	0,027
120–135	8	7,49	–	0,009	0,009	0,127	0,004	0,055
160–170	7	7,41	–	0,009	0,009	0,125	0,004	0,043
205–215	7	7,40	–	0,009	0,009	0,125	0,004	0,043
235–245	7	7,40	–	0,002	0,002	0,125	0,004	0,043
245–260	7	7,40	–	0,002	0,002	0,250	0,004	0,065
$\bar{x}$			–	0,10	0,10	0,20	0,01	0,03
$\delta$			–	0,107	0,107	0,065	0,004	0,020
$\bar{x} + 2\delta$			–	0,310	0,310	0,326	0,016	0,067

Таблица 2

Содержания CaCO<sub>3</sub> и металлов (Fe, Mn, Cu и Zn) в пересчете на БКВ в осадках колонки 1430 (в %)

Интервал, см	CaCO <sub>3</sub>	Fe	Mn	Cu	Zn	(Cu+Zn)
0–2	54	9,12	0,200	0,065	0,004	0,070
2–10	39	9,17	0,250	0,066	0,007	0,072
10–20	44	9,99	0,280	0,054	0,009	0,063
20–30	46	7,77	0,290	0,056	0,007	0,063
30–40	39	9,17	0,320	0,082	0,010	0,092
40–50	44	9,99	0,210	0,071	0,009	0,080
50–60	48	<b>10,75</b>	0,300	0,077	0,012	0,089
60–70	50	8,39	0,310	0,060	0,010	0,070
70–80	51	8,56	0,240	0,061	0,012	0,074
80–90	48	<b>10,75</b>	0,370	0,058	0,012	0,069
90–100	48	<b>10,75</b>	0,300	0,077	0,019	0,096
100–110	50	<b>11,18</b>	0,080	0,080	0,016	0,096
110–120	44	9,99	0,280	0,089	0,011	0,100
120–130	40	6,99	0,260	0,100	0,017	0,117
130–145	47	7,91	0,220	0,023	0,011	0,034
$\bar{x}$			0,260	0,070	0,010	0,080
$\delta$			0,067	0,018	0,004	0,020
$\bar{x} + 2\delta$			0,396	0,104	0,019	0,119

Результаты изотопно-геохронологических исследований приведены в табл. 3 и 4 и на рис. 2. Для осадков колонки 1281 были получены датировки верхних 11 горизонтов (табл. 3). Полученные данные свидетельствуют о том, что формирование верхних ~120 см осадков происходило в течение ~123 тыс. лет. Средняя скорость осадконакопления составляла  $\sim 1,03 \pm 0,05$  см в 1 тыс. лет.

**Геохронологические датировки колонки 1281**  
(рассчитано из средней скорости осадконакопления  $\sim 1,03 \pm 0,05$  см/тыс. лет)

Горизонт опробования, см	Возраст, тыс. лет
<b>0–3</b>	<b>1,4 ± 0,1</b>
3–10	6,3 ± 0,3
10–20	14,5 ± 0,7
<b>20–30</b>	<b>24,2 ± 1,1</b>
30–40	33,8 ± 1,6
<b>40–50</b>	<b>43,5 ± 2,1</b>
50–60	53,1 ± 2,5
70–80	72,5 ± 3,4
80–92	83,1 ± 4,0
92–100	92,8 ± 4,4
120–135	123,2 ± 5,9

Таблица 4

**Геохронологические датировки колонки 1430**  
(рассчитано из средней скорости осадконакопления  $\sim 2,14 \pm 0,05$  см/тыс. лет)

Горизонт опробования, см.	Возраст, тыс. лет.
0–2	0,6 ± 0,06
2–10	3,7 ± 0,2
10–20	9,2 ± 0,5
20–30	15,4 ± 0,9
30–40	21,5 ± 1,3
40–50	27,6 ± 1,6
<b>50–60</b>	<b>33,8 ± 2,0</b>
60–70	39,9 ± 2,4
70–80	46,1 ± 2,7
<b>80–90</b>	<b>52,2 ± 3,1</b>
<b>90–100</b>	<b>58,4 ± 3,5</b>
<b>100–110</b>	<b>64,5 ± 3,8</b>
110–120	70,6 ± 4,2
120–130	76,8 ± 4,6
130–145	84,5 ± 5,0

Повышенные содержания железа (более 10% ) свидетельствуют о максимальном поступлении гидротермального рудного материала в периоды  $\sim 1,4$ ,  $\sim 24,2$  и  $\sim 43,5$  тысяч лет назад. Осадки колонки 1430 формировались в течение  $\sim 64,5$  тыс. лет при средней скорости накопления порядка  $2,14 \pm 0,02$  см/тыс. лет. Максимальные поставки рудных компонентов приходятся на временные интервалы  $\sim 26$  и  $\sim 52$ – $65$  тыс. лет назад.

Сопоставляя геохронологические датировки и повышенные содержания элементов-индикаторов в колонке 1281, можно предположить, что гидротермальная деятельность в пределах рудного поля Ашадзе-1 была наиболее активна в периоды  $\sim 1,4$ ,  $\sim 24,2$  и  $\sim 43,5$  тыс. лет назад (рис. 2, А). Резкое повышение содержаний рудных элементов в верхней части колонки может быть результатом поступления рудного вещества за счет разрушения близрасположенных гидротермальных построек. В колонке 1430 наблюдаются повышенные содержания железа в интервале 50–60 см ( $\sim 33,8$  тыс. лет), и в интервале 80–110 см (52,2–64,5 тыс. лет назад). При этом в обеих колонках совпадение повышенных значений не наблюдается (рис. 2, Б).

#### **Выводы:**

1. Изученные осадки колонок 1281 и 1430 накапливались в течение  $\sim 123$  и  $\sim 84,5$  тыс. лет со средней скоростью  $1,03 \pm 0,05$  и  $2,14 \pm 0,05$  см/тыс. лет соответственно.

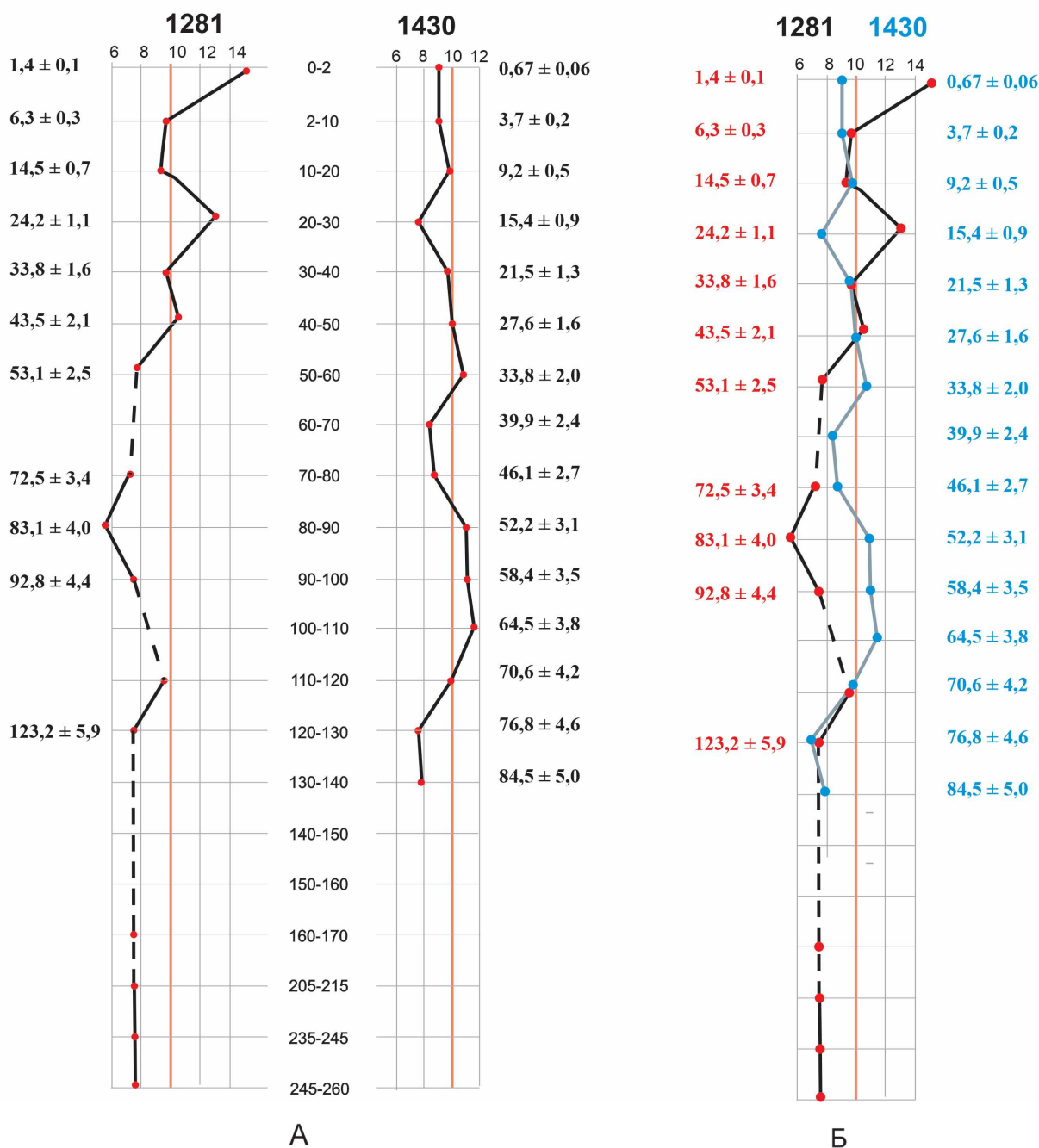


Рис. 2. Вертикальное распределение железа и датировки осадков колонок 1281 и 1430

2. В поверхностных осадках колонки 1281 фиксируется локальный снос гидротермального вещества за счет разрушения расположенных вблизи рудных тел; в остальной части разреза обеих колонок фиксируется поступление рудного вещества из гидротермального плюма, характеризующееся значительной изменчивостью.

3. Наиболее активная гидротермальная деятельность на рудном поле Ашадзе-1, по данным изучения донных осадков, фиксируется в периоды ~1,4, ~25, ~34, ~43,5 и ~52–64 тыс. лет назад.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарности В. Ю. Кузнецову и К. А. Кукса (СПбГУ) за ценные указания при подготовке тезисов.

#### Литература

1. Бельтнев В. Е., Нещеретов А. В., Иванов В. Н. и др. Новое гидротермальное рудное поле в осевой зоне Срединно-атлантического хребта // Докл. РАН. – 2004. – Т. 397, № 1. – С. 78–82.
2. Гурвич Е. Г. Металлоносные осадки Мирового океана. – М. : Научный мир, 1998. – 340 с.

# ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕК ГАТЧИНСКОГО РАЙОНА ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

И. И. Подлипский, П. С. Зеленковский

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, primass@inbox.ru*

**Введение и обоснование актуальности.** Донные отложения являются важнейшей составляющей водных объектов, в значительной степени определяющей их состояние. В донных отложениях происходит аккумуляция большей части органических и неорганических веществ, которые при определенных условиях (ветровое взмучивание, изменение рН, минерализации, водности, проведение дноуглубительных работ, дампинг и т. д.) могут переходить в водную толщу, вызывая ее вторичное загрязнение. Донные отложения, являясь средой обитания многочисленных классов бентофауны, влияют на их видовой состав, бионакопление наиболее опасных веществ, нарушение цепи биоценоза. Поэтому любая информация о состоянии водных объектов без учета загрязненности их донных отложений может быть неполной и неточной [2; 6].

Оценка состояния донных отложений позволяет установить экологическое состояние не только водотока (водоема), но и экосистемы в целом. Донные отложения как литогенная основа аквальных ландшафтов являются конечным депо накопления многих соединений и веществ, включая и тяжелые металлы. Согласно ГОСТ 17.1.5.01-80 и ИСО 5667-1 «донные отложения», это – «наносы и твердые частицы, образовавшиеся и осевшие на дно водного объекта в результате внутриводоемных физико-химических и биохимических процессов, происходящих с веществами как естественного, так и техногенного происхождения».

В полевых научных и научно-прикладных исследованиях применяется классификация донных отложений по происхождению (составу) [2; 6]:

– аллохтонные (литогенетические (глинистые минералы, кварц и т. д.), образованные при эрозии почв и выветривании основных пород, плоскостном и линейном смыве в аквальные ландшафты);

– автохтонные (образующиеся «на месте» в воде, в результате реакций между минеральными соединениями (частицы типа гидроксидов Fe, Mn, Al или их сульфидов и карбонатов) и органическими веществами, включая остатки организмов и их метаболитов).

Согласно РД 52.24.609-2013 «Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях», оценку состояния донных отложений водных объектов обычно проводят:

– на качественный и количественный химический анализы поллютантов;

– на биотестирование и установление параметров интегральной токсичности (совокупности всех токсических химических веществ и их метаболитов).

**Нормативная основа и методика проведенных работ.** Методы отбора проб донных отложений установлен несколькими нормативными документами, среди которых наиболее часто находят применение ГОСТ 17.1.5.01-80, РД 52.24.609-2013 и ПНД Ф 12.1:2:2.2:2.3:3.2-03.

Согласно СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания» п. 5.24.6.2, выводы об экологическом состоянии донных отложений делают с учетом их классификации по гранулометрическому составу и содержанию органического вещества в соответствии с ГОСТ 25100. Список показателей контроля, рекомендуемый к оценке, приведен в табл. 5.10 СП 502.1325800.2021. Кроме того, данный свод правил приводит рекомендации к оценке уровня загрязненности донных отложений путем применения одного из предлагаемых способов сравнения (п. 5.14.4):

– расчет коэффициентов концентрации по отношению к нормативам региональных стандартов состояния донных отложений (например, «Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга». Региональный стандарт. ОАО «Ленморниипроект», 1996);



**Среднее содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях  
по данным ФГБУ «Северо-Западное УГМС» (2010–2020 гг.).**

Элемент	Cu	Zn	Pb	Cd	Mn	As	Hg	Cr
Среднее (условно фоновое)	1,9	14,2	5,2	0,4	120	0,09	0,018	2,2

– расчет коэффициентов концентрации по отношению к фону, установленному для района распространения объекта (по фоновым данным);

– расчет коэффициентов концентрации по отношению к фону, установленному для конкретного объекта путем отбора фоновых (не менее 3) проб. Методика расположения фоновых створов: РД 52.24.609-2013 и «Методические указания по осуществлению Государственного мониторинга водных объектов в части организации и проведения наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов» (Приказ МПР РФ № 112 от 24.02.2014);

– расчет коэффициентов концентрации по отношению к фону в морских донных отложениях (по нормативным значениям других стран);

– расчет коэффициентов концентрации по отношению ПДК/ОДК для почв (данную рекомендацию рационально рассматривать только в самом последнем случае).

Кроме приведенных и нормативно рекомендованных способов оценки состояния донных отложений можно выделить несколько используемых в научной и научно-прикладной литературе:

– коэффициент донной аккумуляции (КДА) («Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» М., МПР РФ, 1992. 58 с.);

– кратность средней характерной концентрации (Обоснование обобщающего показателя качества экологического состояния донных отложений. А. А. Кленкин, Л. Ф. Павленко, И. Г. Корпакова, З. А. Темердашев. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. № 8. С. 11–14);

– показатель накопления (Бреховских В. Ф., Казмирук Т. Н., Казмирук В. Д. Донные отложения Ивановского водохранилища. М. : Наука, 2006. 253 с.);

– модифицированный суммарный показатель загрязнения (Базарский О. В. Механизмы образования донных осадков в водоемах. Материалы Второго молодежного инновационного проекта «Школа экологических перспектив». Воронеж : Изд-во ВГУ, 2013. С. 9–14);

– индекс геоаккумуляции по Г. Мюллеру (Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 2 (1969), P. 108–118);

– коэффициент обогащения (Pandey J., Singh R. Heavy metals in sediments of Ganga River: up and downstream urban influences. *Appl Water Sci.* DOI 10.1007/s13201-015-0334-7. Springer, 2015);

– коэффициент среднего накопления (Янин Е. П. Техногенные илы в реках Московской области: (геохимические особенности и экологическая оценка). М. : ИМГРЭ, 2004. 95 с) и др.

Начиная с конца 1990-х годов, работы под руководством ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» приобрели систематический характер, включающий в себя постоянный мониторинг состояния поверхностных вод и донных отложений водных объектов (прежде всего рек) Ленинградской области. По данным Государственного мониторинга, большинство рек области в общем и Гатчинского района в частности характеризуются уровнем загрязнения от V («грязные») до III («умеренно загрязненные») [4]. Данные этих работ за 10 лет (2010–2020 гг.), использовались для установления медианного содержания, которое в данной работе условно принималось за фоновое (таблица). Использованная методика расчета, по данным источника [5].

Для оценки состояния донных отложений в Гатчинском районе была составлена схема отбора проб, учитывающая максимальным образом все условия и особенности осадконакопления в реках, геологического строения их водосборных площадей, а также различные виды антропогенной деятельности. Были выбраны 10 рек – Верёвка, Ижора, Парица, Малое Замостье, Чёрная, Оредеж, Хревица, Орлинка, Дивенка и Яцера (схема расположения точек отбора приведена на рисунке).

**Результаты работы.** По данным анализа работ ФГБУ «Северо-Западное УГМС», реки Гатчинского района находятся в зоне высокой антропогенной нагрузки, в связи с чем отмечается высокий уровень загрязнения поверхностных вод, превышающий ПДК содержание тяжелых металлов, а также заболачиваемость [4]. Реки мелеют и, по данным многих источников, сильно загрязнены [3, 4].

1. Река Верёвка. Отобрано 6 образцов: 3 ниже по течению от дер. Верево, 3 в районе устья притока родника – местного источника водоснабжения. Показатели условного фона не превышены. В соответствии с «Нормы и критерии...» [1], донные отложения р. Верёвка можно отнести к «целевому уровню» и «нулевому классу» опасности.

2. Река Ижора. Отобрано 14 проб: 12 шт. в районе устья притока р. Тёплая в линию с расстоянием между пикетами 150–200 м, 2 пробы в районе примыкания к руслу автомобильной дороги, в 15 км от г. Гатчина. Превышения условного фона не установлены. Наибольшие коэффициенты концентрации установлены для нескольких образцов, «около дороги» (0,7–0,78) по Cu и Zn. В соответствии с «Нормы и критерии...» [1], донные отложения р. Ижора в Гатчинском районе можно отнести к «целевому уровню» и «нулевому классу» опасности.

3. Река Парица. Отобрано 6 образцов: 3 ниже по течению от дер. Парицы, 3 выше по течению, на 7–10 км. Превышений условного фона не установлены. В соответствии с «Нормы и критерии...» [1], донные отложения р. Парица в Гатчинском районе можно отнести к «целевому уровню» и «нулевому классу» опасности.

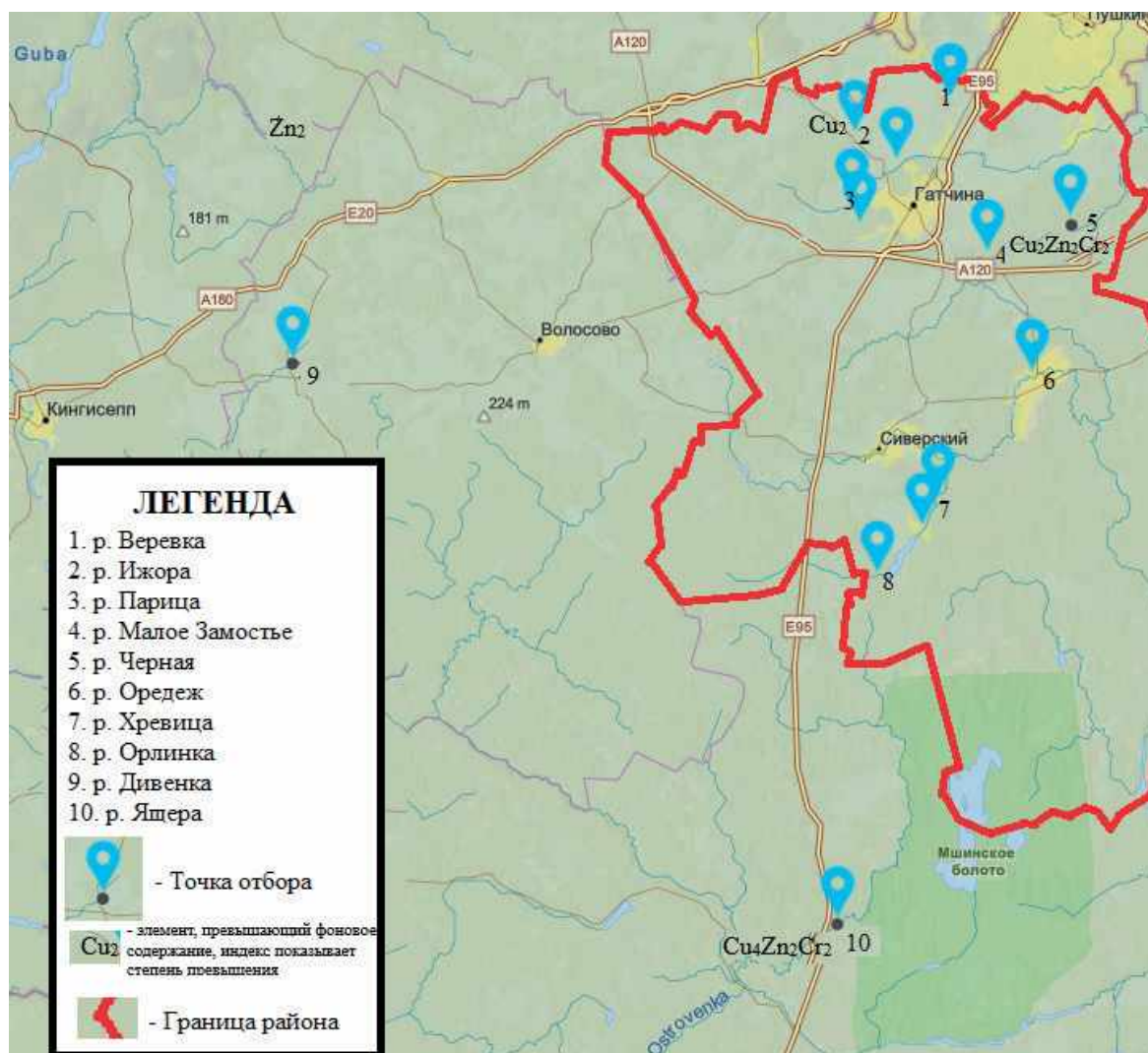


Схема точек отбора проб донных отложений и оценки превышения фона

4. Река Малое Замостье. Отобрано 7 образцов: 4 ниже по течению от дер. Малое Замостье и 3 шт. выше по течению на 9–10 км. Воды в период отбора характеризуются высокой мутностью. Установлены незначительные флуктуации около фоновых значений для Pb (0,8). В соответствии с «Нормы и критерии...» [1], донные отложения р. Малое Замостье в Гатчинском районе можно отнести к «целевому уровню» и «нулевому классу» опасности.

5. Река Чёрная. Отобрано 5 образцов, 1 – ниже по течению от пос. Семрино и через каждые 5 км. В первых 2 образцах установлено превышение условного фона для Cu (2,1) и Pb (2,2) в 2 раза; кроме того, в первой пробе отмечается «приближение» по Cr (0,84). В соответствии с «Нормы и критерии...» [1], донные отложения р. Чёрная в Гатчинском районе пробы 1–2 можно отнести к «первому классу» опасности и соответствующими «предельному уровню», остальные к «целевому уровню» и «нулевому классу» опасности.

6. Река Оредеж. Отобрано 17 образцов: 6 шт. взяты возле дамбы в г. Вырица, 11 шт. ниже по течению с расстоянием между пикетами 1 км. В образцах в районе дамбы установлено превышение по Mn, Pb, Cu и Zn. Превышения условного фона для проб ниже по течению не установлены. Из-за высокого загрязнения р. Оредеж донные отложения в г. Вырица следует отнести ко «второму классу» опасности с возможными тенденциями к ухудшению; донные отложения «проверочного уровня», с возможным вредом для местного населения.

7. Река Хревица. Отобрано 12 образцов донных отложений, начиная от дер. Каложицы и ниже по течению через каждые 5 км. Для образца № 1 установлено приближение к условному фону по Pb (0,78), в остальных пробах превышений нет. В соответствии с «Нормы и критерии...» [1], донные отложения р. Хревица в Гатчинском районе можно отнести к «целевому уровню» и «нулевому классу» опасности.

8. Река Орлинка. Отобрано 13 образцов: 4 шт. у истока реки возле оз. Орлинское, рядом с дер. Дружная Горка, 6 шт. – недалеко от пос. Кургино, 3 шт. за границами населенных пунктов ниже по течению. Практически во всех образцах, отобранных вблизи дер. Дружная Горка и пос. Кургино установлено превышение Pb (2,4) и Mn (1,9), остальные показатели соответствуют фоновому уровню. В соответствии с «Нормы и критерии...» [1], донные отложения р. Орлинка в Гатчинском районе пробы 1–10 можно отнести к «первому классу» опасности и соответствующими «предельному уровню», остальные к «целевому уровню» и «нулевому классу» опасности.

9. Река Дивенка. Отобрано 3 пробы вне границ населенных пунктов, вблизи южной части оз. Ординское. Превышения условного фона не установлены. В соответствии с «Нормы и критерии...» [1], донные отложения р. Дивенка в Гатчинском районе можно отнести к «целевому уровню» и «нулевому классу» опасности.

10. Река Ящера. Отобрано 17 образцов: 8 шт. выше по течению от пос. Долговка, 9 шт. в границах поселка и ниже по течению. Шаг отбора – 3–5 км. В образце, отобранном в поселке, отмечается превышение условного фона по Pb, Cu и Cr в 2–4 раза. В большинстве образцы из реки соответствуют фону и не загрязнены. Общее состояние донных отложений следует отнести к «целевому уровню» и «нулевому классу» опасности. Вмешательства не требует.

**Выводы.** В целом можно констатировать невысокие показатели загрязнения (превышения условного фона) донных отложений по валовому содержанию Pb, Zn, Cu и Mn. Результаты работы могут использовать как доказательство высокого ассимиляционного потенциала донных отложений рек Гатчинского района Ленинградской области, а также как обоснование необходимости рекультивационных работ на реках в пределах населенных пунктов. Рекомендуется провести оценку состояния донных отложений в местах проживания человека по более плотной сети, с учетом мощности.

#### Литература

1. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга // Региональный стандарт. – ОАО «Ленморниипроект», 1996.

2. Определение фоновых содержаний тяжелых металлов в почвах и донных осадках центральной части национального парка Смоленское Поозерье / А. В. Терехова, И. И. Подлипский, П. С. Зеленковский, В. Р. Хохряков // Экологические проблемы недропользования: Материалы Семнадцатой международной молодежной научной конференции, Санкт-Петербург, 29–30 мая 2017 года. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный университет, 2017. – С. 67–74.

3. *Подлипский И. И.* Оценка степени загрязнения рек Всеволожского района / И. И. Подлипский, К. В. Осипов // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Дню Байкала, Иркутск, 23–29 августа 2021 года. – Иркутск : Иркутский государственный университет, 2021. – С. 496–498.

4. *Подлипский И. И.* Литературный обзор проведенных работ по оценке состояния поверхностных вод и донных отложений по Гатчинскому, Всеволожскому и Кировскому районам Ленинградской области / И. И. Подлипский, К. В. Осипов // Геология, геоэкология, эволюционная география: Коллективная монография. Том XVIII. – СПб. : Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, 2019. – С. 96–98.

5. *Подлипский И. И.* Учет локальных флуктуаций фоновых концентраций поллютантов в эколого-геохимических исследованиях // Инженерные изыскания. – 2015. – № 5–6. – С. 80–88.

6. Расчет коэффициента суммарного загрязнения в почвах и донных отложениях рекреационной зоны национального парка Смоленское Поозерье / Л. А. Коннонова, И. И. Подлипский, П. С. Зеленковский, В. Р. Хохряков // Экологические проблемы недропользования: Материалы Шестнадцатой международной молодежной научной конференции, Санкт-Петербург, 06–09 июня 2016 года. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета, 2016. – С. 260–262.

## ПРОБЛЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА СЕРПУХОВ

М. С. Сусин, Е. В. Архипова

*Государственный Университет «Дубна», г. Дубна,  
sms.21@uni-dubna.ru*

**Введение.** В условиях глобальной урбанизации, затрагивающей в том числе и Россию, увеличивается физическое воздействие на население и окружающую среду, что подчеркивает важность его изучения в городах. Одним из примеров таких воздействий является электромагнитное поле.

Цель исследования: оценить эколого-геофизическую обстановку в Серпухове.

Задачи: проанализировать литературу по физическому загрязнению в городах, выполнить обзор по влиянию физических факторов (электромагнитные излучения 50 Гц) на человека и природу, изучить методику измерения магнитной индукции, выбрать объекты для наблюдения, провести замеры уровня магнитной индукции и оформить данные в электронный журнал.

**Описание влияния на здоровье населения.** Одним из основных источников электромагнитных полей (ЭМП) в городах являются устройства с частотой 50 Гц, ответственные за работу электроэнергии. К основным источникам низкочастотных полей относятся трансформаторы, электропроводка и бытовые приборы. Горожане практически постоянно подвергаются воздействию этих полей, интенсивность которых обычно колеблется от 50 до 300 нТл.

Высокие уровни ЭМП могут вызывать нагрев тканей и помутнение хрусталика глаза, а также увеличивать проницаемость клеточных мембран. Постоянное воздействие низкочастотных ЭМП нарушает работу биополей и влияет на здоровье, снижая эффективность нервной, иммунной и гормональной систем. Долговременное воздействие может приводить к кумулятивным эффектам, включая дегенеративные заболевания и рак.

Для измерения мощности электромагнитного поля используют один из его показателей – магнитную индукцию. Магнитная индукция — это физическая величина, описывающая силу действия магнитного поля на движущиеся заряженные частицы и тела, обладающие магнитным моментом [3; 4].



**Рис. 1. Показатели ИМП-05/1 на ул. Ленинского Комсомола**

1 – высота 0,5 м над землей, 2 – высота 1,5 м над землей, 3 – высота 2 м над землей, 4 – среднее значение магнитной индукции по району на всех высотах



**Рис. 2. Показатели ИМП-05/1 на ул. Чернышевского**

1 – высота 0,5 м над землей, 2 – высота 1,5 м над землей, 3 – высота 2 м над землей, 4 – среднее значение магнитной индукции по району на всех высотах

**Место исследования.** Влияние электромагнитного загрязнения изучалось на примере г. Серпухов. Выбранный район имеет как частную жилую двухэтажную застройку не старше 30 лет, так и территорию с 5-этажными панельными домами, построенных в 1970-х годах. Площадь района исследования составила 0,5 км<sup>2</sup>. В пределах района измерения осуществлялись через каждые 50 м. Уровень магнитной индукции замеряли в трехкратной повторности на разных высотах: 0,5 м, 1,5 м, 2 м. Количество точек замеров для данных физических показателей достигло 261.

**Методика исследования с помощью прибора.** Для измерения уровня магнитной индукции использовался прибор ИМП-05/1 (измеритель магнитного поля).

Принцип работы прибора заключается в том, что переменное магнитное поле, создаваемое исследуемым объектом, вызывает появление переменных напряжений в трех перпендикулярных катушках антенны устройства. Эти напряжения пропорциональны трем компонентам вектора магнитной индукции. В процессе обработки сигналы усиливаются, проходят через полосовые фильтры и детектируются. Затем рассчитывается значение магнитной индукции, которое отображается на жидкокристаллическом дисплее в единицах плотности магнитного потока (нТл) [1; 2].

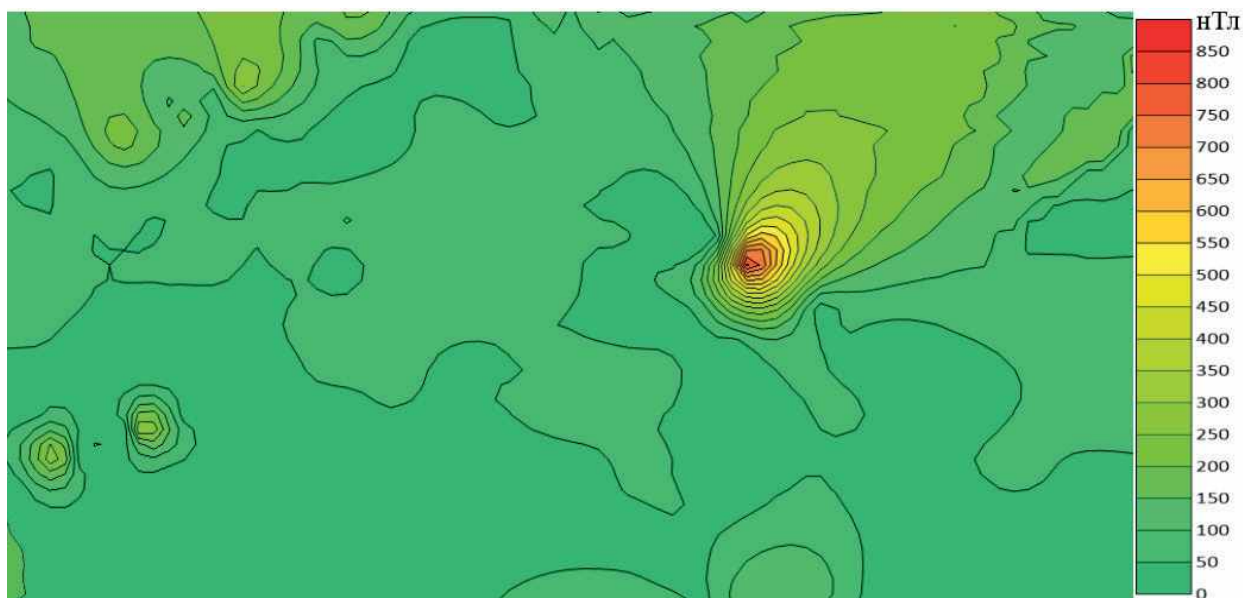


Рис. 3. Схема распределения полей низкой частоты со шкалой деления в нТл

Прибор оснащен кнопкой включения и выключения, а также небольшим дисплеем с четырьмя значащими показателями (5-2000) для модели ИМП-05/1. На лицевой панели указаны модель прибора, диапазоны и единицы измерения [1; 2].

Измерения проводились на различных высотах: 0,5 м, 1,5 м и 2,0 м от поверхности земли. На высоте 0,5 м электромагнитное поле оказывает влияние на здоровье детей, в то время как на 1,5 м и 2,0 м — на взрослых. Различие в высотах также помогает определить источник магнитной индукции: от земли, где могут находиться подземные коммуникации, или сверху, например, от линий электропередач. По итогам работы получены сведения о распределении полей низкой частоты на территории изучаемого района, построена общая карта состояния района с помощью программы *Surfer*, а также построены графики сравнения улиц с различной степенью антропогенной нагрузки.

**Результаты исследования.** По итогу исследования выявлены профили со средними низкими показателями: ул. Захаркина, Первомайский переулок, ул. Ленинского Комсомола (рис. 1) и т. д.

А также выявлены профили со средними высокими показателями: ул. Чернышевского (рис. 2), ул. Космонавтов, ул. 25 Октября и др.

В целом показания по району оптимальные и в пределах нормы. Но при этом есть зона со значительным превышением магнитной индукции (900 нТл на уровне 1,5 м) по сравнению со средним показателем во всем районе (52 нТл на уровне 1,5 м). Источник данного показателя находится под дорогой, что дает возможность предположить неглубокое расположение коммуникации, и возможно, при этом не изолированной. Поэтому в данном месте рекомендуется провести экранирование участка во избежание негативного воздействия на население.

В итоге можно сказать, что геофизическая оценка по распределению магнитной индукции в старом спальном районе города в целом оптимистичная. За исключением нескольких участков, на исследуемой территории показания весьма однородны и зачастую не превышают 70 нТл (рис. 3). Участки с превышениями показателей в основном расположены в местах старых линий электропередач, которые необходимо заменить. Показатели в 50–80 нТл обычны около 5-этажных домов, а для частного сектора с высотой домов до 2 этажей свойственны показания 0–30 нТл в среднем (рис. 3). Такая разница показывает, насколько жизнь в частном доме безопаснее, в плане воздействий электромагнитных полей низких частот, чем в многоквартирном доме.

## Литература

1. ГОСТ Р 51070-97. Измерители напряженности электрического и магнитного полей. Общие технические требования и методы испытаний.
2. Руководство по эксплуатации ПАЭМ.411173.001 РЭ. Измеритель магнитного поля ИМП-05.
3. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ.
4. Холодов Ю. А. Мозг в электромагнитных полях. – М. : Наука, 1982. – 123 с.

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ПОЧВЫ ГОРОДА ЗАКАМЕНСК (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

А. Е. Тельнов

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
Москва, afanasy2000@gmail.com

Джидинский ВМК функционировал более 60 лет и прекратил свою деятельность в 1996 г. В результате его работы образовались вскрышные, забалансовые и шахтные отвалы при коренных месторождениях. Также образовались хвостохранилище Барун-нарын и сульфидный спецотвал при обогатительной фабрике.

### Показатели интенсивности и масштабов сдувания пыли с поверхности хвостохранилищ около г. Закаменск

Техногенные образования	q, г/с	c, мг/м <sup>3</sup>	M, т/год	L, м
Пески	39	5	173	1275
Илы	1597	188	6912	1806 (2000)

Особую опасность для окружающей среды и здоровья человека представляют отходы, складированные в хвостохранилищах (таблица). Их рассматривают с двух позиций:

– как техногенные месторождения, содержащие повышенные концентрации основных металлов и попутных ценных компонентов;

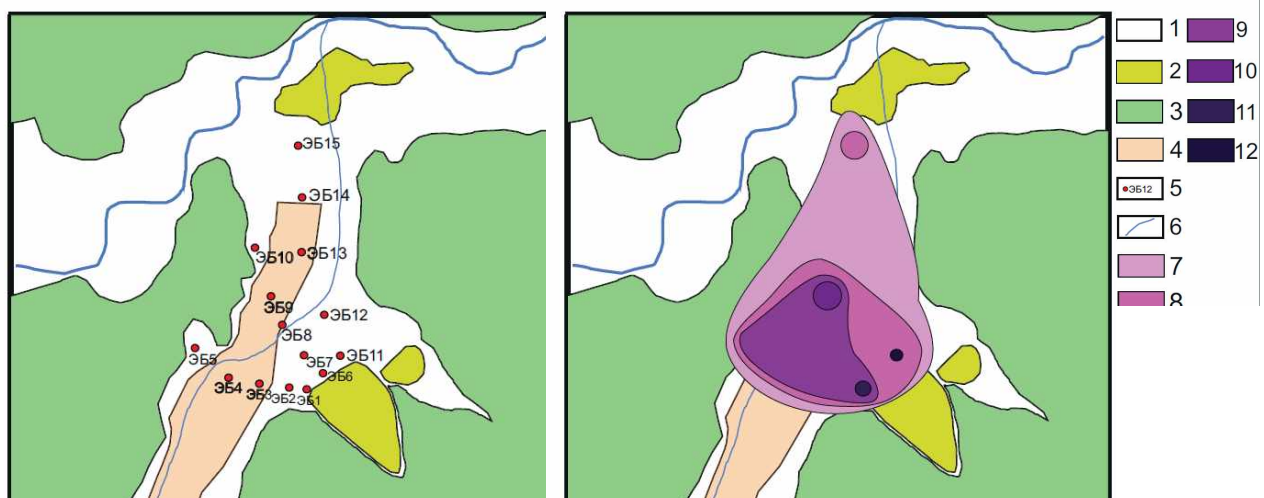


Схема отбора проб и ореолы степени загрязнения

1 – речные долины, 2 – техногенные месторождения, 3 – лесная зона, 4 – г. Закаменск, 5 – точки отбора проб, 6 – реки, 7 –  $Z_c > 50$ , 8 –  $Z_c > 100$ , 9 –  $Z_c > 200$ , 10 –  $Z_c > 300$ , 11 –  $Z_c > 500$ , 12 –  $Z_c > 900$

– как источник реальной угрозы загрязнения окружающей среды токсичными элементами. В пределах природно-горнопромышленной техногенной системы имеет место накопление широкого спектра металлов руд (Pb, Zn, Cd, As, Bi, Hg, Sn, Cr, Mo Cu, Mn и др.)

На основании ранее полученных данных [1], по размерам хвостохранилищ и средним концентрациям химических компонентов в хвостах произведен приближенно-количественный расчет экологического ущерба для земельных ресурсов. Был произведен расчет массы пыли, сдуваемой в течение 1 года с площади поверхности техногенных образований по методике, изложенной в работе [3].

Для оценки степени загрязнения почв г. Закаменск было отобрано 15 проб. Суммарный показатель загрязнения по каждой пробе в верхнем слое почвы за счет привноса пыли был рассчитан по широкому набору элементов по формуле Саэта:

$$Z_c = \sum_{k=0}^n x_i - (n - 1), \quad (1)$$

где  $x_i$  – отношение средней концентрации  $i$ -го компонента к его фоновой концентрации в почвах [4] (в отдельных случаях вместо фоновых были взяты значения ПДК или ОДК);  $n$  – число химических компонентов.

На основании полученных результатов были построены ореолы степени загрязнения почв в г. Закаменск (рисунок).

#### Литература

1. Техничко-экономическое обоснование разведочных кондиций для подсчета запасов Барун-Нарынского техногенного месторождения. – ЗАО «Закаменск», 2011.
2. Самсонов А. А., Бурмистров А. А., Тельнов А. Е. Рудный потенциал природных и техногенных месторождений вольфрама района г. Закаменск (Республика Бурятия) в контексте перспектив его комплексного использования // Руды и металлы. – 2024. – № 1.
3. Комонов С. В., Комонова Е. Н. Ветровая эрозия и пылеподавление: Курс лекций. – Красноярск : Изд-во СФУ, 2008. – 192 с.
4. Водяницкий Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. – М., 2008. – 140 с.



ГОРЮЧИЕ ПОЛЕЗНЫЕ  
ИСКОПАЕМЫЕ: ГЕОЛОГИЯ,  
РАЗРАБОТКА,  
СОПУТСТВУЮЩИЕ РЕСУРСЫ

## К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ЯРЕГСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Т. М. Белоногов<sup>1</sup>

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, 79194733343@yandex.ru*

Ярегское месторождение входит в состав Ухта-Ижемского вала Восточно-Тиманского сложного мегавала (рис. 1). Оно приурочено к центральной и юго-восточной частям свода Ухтинской складки, осложненным Ярегским, Южно-Ярегским, Лыаельским и Вежавожским локальными поднятиями.

Ярегское нефтяное месторождение было открыто в 1932 г. Месторождение разрабатывается шахтным способом с 1939 г. С 1971 г. на месторождении началось промышленное внедрение вторичного теплового (термошахтного) способа добычи нефти. С 1973 г. ведутся работы по добыче нефти с поверхности с паровым прогревом пласта на опытном участке за контуром шахтной разработки на Лыаельской площади. На сегодня Госбалансом учтены запасы нефти по трем пластам: III, II, A (рис. 2). По суммарным извлекаемым запасам нефти месторождение относится к крупным.

В соответствии со схемой нефтегазогеологического районирования, ТПП Ярегское нефтяное месторождение относится к Ухта-Ижемскому НГР Тиманской НГО.

В тектоническом отношении Ярегское месторождение приурочено к асимметричной брахиантиклинальной складке, северо-восточный угол которой юго-западный. Размеры месторождения около  $37 \times 2-7$  км. В пределах месторождения установлены субмеридиональные и субширотные разрывные нарушения длиной 1–5 км и амплитудой смещения 10–30 м, а также мелкие сбросы и выбросы с зонами дробления 1–2 м шириной. Нарушения заполнены глиной, кальцитом, кварцем, реже брекчиями. Разрывы наблюдаются в нефтяном пласте. В трещинах, пересекающих весь разрез, амплитуда растет с глубиной. Типы разрывных нарушений разные, их объединяет появление ступенчатости с удалением от центра складки.

Самый древний пласт состоит из серицито-хлоритокварцевых сланцев рифейского возраста, и его вскрытая мощность составляет 641,5 м. На поверхности пласта встречена кора выветривания, представленная менее крепкими разностями.

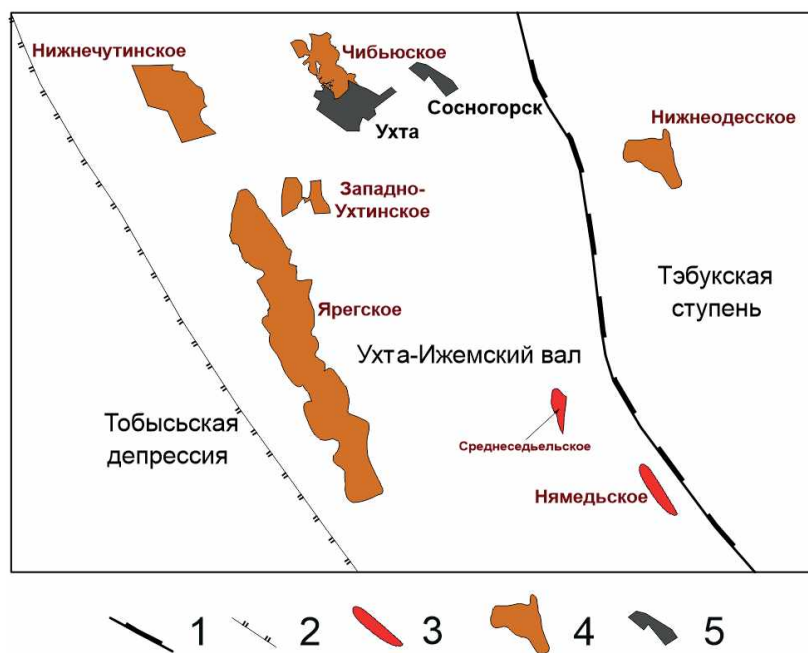
Выше несогласно залегают отложения среднего девона. В основании они представлены кварцевыми песчаниками с прослоями алевролитов, аргиллитов, конгломератов, мощностью около 80 м, которые составляют так называемый III пласт. Породы-коллекторы представлены кварцевыми хорошо отсортированными, косослоистыми, преимущественно мелко- и тонкозернистыми песчаниками. Аргиллитам и алевролитам присуща форма линз. В кровле отложений находится глинисто-алевритовая пачка с прослоями тонкозернистых песчаников и алевритов. Выше залегают туффито-диабазовая толща мощностью около 40 м.

На туффито-диабазовой толще несогласно залегают слои джьерского возраста, состоящие из глин и аргиллитов с редкими и маломощными песчаными линзами. В кровле этих слоев находится II пласт, представленный песчаниками.

Выше расположен глинистый слой тиманско-саргаевского возраста мощностью 100 м. В средней его части расположен обводненный пласт A, представленный песчаниками и глинами. В верхней его части выделяют песчаный пласт I эродированный в своде.

Девонские отложения несогласно перекрываются четвертичными мощностью до 26 м, представленными суглинками с линзами песков, гравия и валунов.

Существуют две модели формирования уникального по строению и запасам Ярегского нефтяного месторождения. Первую выдвинули последователи абиогенной теории нефтегенеза, опиравшиеся на труды крупных ученых (Н. А. Кудрявцев, П. Н. Кропоткин, В. Б. Порфирьев, Г. Н. Доленко, З. Л. Маймин, Э. Б. Чекалюк и др.). Она заключается в неорганическом происхождении нефти и ее миграции из пород рифейского фундамента. Данное представление появилось в ходе обнаружения примазок нефти в трещинах рифейского фундамента.



**Рис. 1. Выкопировка из тектонической карты Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции**

1 – границы тектонических элементов I порядка, 2 – границы тектонических элементов II порядка, 3 – месторождения газа, 4 – месторождения нефти, 5 – города

С другой стороны, в дискуссию вступили сторонники осадочно-миграционной теории нефтидогенеза с принципиально новым уровнем геохимических, геодинамических и флюидодинамических критериев. В 1950–1970 гг. наиболее значительный вклад в становление основ теории нефтидогенеза в Советском Союзе внесли Г. А. Амосов, А. А. Бакиров, И. О. Брод, Н. Б. Вассоевич, Ф. Г. Гурари, М. Ф. Двали, А. Э. Конторович, С. П. Максимов, С. Г. Неручев, Б. А. Соколов, А. А. Трофимук, В. А. Успенский и др.

В настоящее время начинается новый этап развития теории нефтидогенеза. Теория нефтидогенеза, как она формировалась в течение второй половины XX в., концентрировала внимание главным образом на выявлении биохимических предшественников углеводородов рассеянного органического вещества, на механизмах трансформации биологических предшественников углеводородов нефтидов в ходе седиментогенеза, катагенеза и диагенеза, на процессах миграции нефти и газа, на теории осадочных бассейнов как родины нефти.

Автор, поддерживая осадочно-миграционную теорию нефтидогенеза, использовал теоретические основы об этапах, механизмах и формах первичной и вторичной миграции углеводородов, а также выполнил расчеты по формулам, приведенным в работе С. Г. Неручева [3]. Также были использованы актуальные геолого-геохимические данные об очагах нефтегазогенерации в среднедевонско-нижнефранском осадочном комплексе.

Для описания процесса миграции нефти также использовалась теория дифференциального улавливания нефти и газа при миграции их через цепочку сообщающихся друг с другом ловушек, расположенных одна выше другой, которая была разработана советскими учеными В. П. Савченко и С. П. Максимовым [3]. Согласно теории, если в пласте-коллекторе происходит движение нефти с растворенным в ней газом, то на больших глубинах ловушки будут заполнены нефтью (и растворенным в ней газом). После заполнения этих ловушек нефть будет мигрировать вверх по восстанию пластов. На участке, где пластовое давление окажется ниже давления насыщения, газ будет выделяться из нефти в свободную фазу и поступать вместе с нефтью в ближайшую ловушку. В этой ловушке может образоваться нефтяная залежь с газовой шапкой, или, если газа будет много, она заполнится газом, а нефть будет вытеснена им в следующую гипсометрически выше расположенную ловушку. По-видимому, именно по такому сценарию и происходило заполнение ловушек на моноклиномальном склоне Тэбукской

Система	Отдел	Ярус	Польярус	Подгоризонт	Горизонт	Пласт	Начка	Глубина ср. залегания, м	Колонка	Толщина среза, м	Литологическая характеристика
Q	ДЕВОНСКАЯ-D	СРЕДНИЙ-D <sub>3</sub>	Железский-D <sub>3,zv</sub>	D <sub>3f</sub>	D <sub>3sg</sub>	I		10.6		10.6	Почвенно-растительный слой с включениями гравия, гальки и редких валунов
								17.0		6.4	Глины с прослоями песка, с включениями гальки и валунов
								20.0		3.0	
								24.0		4.0	
								30.4		6.4	Аргиллитоподобные глины известковистые, буровато-серые
								33.1		2.7	
								70.6		37.5	Аргиллиты с редкими прослоями известняков и мергелей. Обильная фауна. Остатки обугленной флоры
								79.1	A	8.5	Песчаники глинистые с прослоями глин и известняков
								121.7		42.6	Аргиллиты с прослоями известняков и реже мергелей
								127.6	II	5.9	Песчаники глинистые с прослоями аргиллитов и известняков
								133.6		6.0	
								139.0	B	5.4	
								176.0	Джесерский-D <sub>3,dr</sub>	Туффондная-D <sub>3,uf</sub>	Размытые туффиты, туффондные глины с пластовыми и секущими телами диабазов и базальтов
186.0	Аргиллитовая	Аргиллиты с прослоями песчаников									
188.0	III	Средний	Песчаники лейкоксен-кварцевые, грубозернистые								
212.0		Средний	Песчаники кварцевые мелкозернистые, косослонистые, с прослоями аргиллитов и алевролитов								
230.0		Нижний	Алевролиты, аргиллиты, линзы песчаников с лейкоксеном								
242.0		Нижний	Песчаники лейкоксен-кварцевые от тонкозернистых до конгломератов с прослоями аргиллитов и алевролитов								
R											Метаморфические сланцы с прослоями кварцитов



Рис. 2. Литолого-стратиграфический разрез Ярегского месторождения

1 – галька и валуны, 2 – песчаники, 3 – аргиллиты, 4 – известняк, 5 – мергель, 6 – фауна, 7 – туффиты, 8 – поверхности размыва

ступени и Ухта-Ижемском валу при формировании здесь крупного Ярегского месторождения. Далее на запад отложения девона и палеозоя резко погружаются, что ограничивает латеральное движение УВ-флюидов и, по сути, маркирует границу Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

Согласно представлениям А. Я. Кремса, Б. Я. Вассермана, Н. И. Матвиевской, поступление нефти в коллектор происходило со стороны Чибьюского месторождения по так называемому «Нямедскому песчаному проливу» [1]. Образовавшаяся в своде Ярегского поднятия газонефтяная залежь имела первоначально значительно более широкие контуры и этаж продуктивности, чем современная среднедевонская залежь тяжелой нефти. Доказательством служит наблюдающееся на далеком погружении восточного крыла структуры остаточное нефтенасыщение песчаников III пласта на полную мощность или на значительную ее часть, что возможно только при наличии в этих районах нефтяной залежи. На это же указывают и нефтепроявления в трещиноватых метаморфических сланцах на более низких гипсометрических отметках.

Исходя из общегеологических предпосылок, основанных на анализе литолого-стратиграфических, палеотектонических и геохимических данных, были выполнены расчеты латеральной миграции по методике С. Г. Неручева. Используемая количественная информация о процессах генерации, миграции и аккумуляции углеводородов в недрах не аналогичного, а непосредственно оцениваемого геологического объекта, представляется гораздо более обоснованной и эффективной. Поскольку расчеты сделаны для древней эпибайкальской плиты, то здесь весьма существенным является введение поправок (0,1–0,15) в первичные ресурсы УВ на разрушение месторождений в течение весьма длительного времени их существования (200–400 млн лет).

#### Литература

1. Вассерман Б. Я., Кремс А. Я., Матвиевская Н. Д. Условия формирования и закономерности размещения залежей нефти и газа. – М., 1974. – 336 с.
2. Данилевский С. А., Склярова З. П., Трифачев Ю. М. Геофлюидальные системы Тимано-Печорской провинции. – Ухта, 2003. – 298 с.
3. Максимов С. П. Закономерности размещения и условия формирования залежей нефти и газа / Под ред. А. А. Трофимука – М., 1964. – 486 с.
4. Неручев С. Г. Оценка потенциальных ресурсов углеводородов на основе моделирования процессов их генерации, миграции и аккумуляции. – СПб., 2006. – 364 с.

## ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СВЯЗИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ И РАДИОАКТИВНОСТИ НА ПРИМЕРЕ НЕКОТОРЫХ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БУГУЛЬМИНСКОЙ ПЛОЩАДИ

Е. П. Васильева<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>АО «Центральное ПГО»

<sup>2</sup>Обособленное структурное подразделение «Компания вотемиро»,  
Оренбург, VasilyevaEP@rusgeology.ru

Бугульминская площадь (лист N-39-XVII) в административном отношении расположена в Приволжском федеральном округе в пределах Республики Татарстан, Самарской и Оренбургской областей (рис. 1).

По принятой схеме нефтегазогеологического районирования изучаемая территория входит в состав Южно-Татарской нефтегазоносной области Волго-Уральской нефтегазоносной провинции [1]. Многопластовые залежи нефти установлены в отложениях эйфельско-франского, франско-турнейского, визейского, окско-башкирского, средне-верхнекаменноугольного комплексов. В пределах Южно-Татарской нефтегазоносной области выделяется Северо-Кинельская зона нефтегазоаккумуляции, которая включает Байтуганское, Сокское, Черновское и Пашкинское месторождения, в разрезе которых устанавливаются интервалы аномальной радиоактивности (табл. 1).



**Рис. 1. Схема административного деления Бугульминской площади**

1 – Республика Татарстан, 2 – Самарская область, 3 – Оренбургская область

Таблица 1

**Характеристика нефтегазоносности и радиоактивности осадочных комплексов некоторых нефтяных месторождений Бугульминской площади (по материалам Д. Г. Тараборина)**

№ п/п	Наименование месторождения	Нефтегазоносный комплекс	Глубина залегания, м	Запасы нефти, А+В+С <sub>1</sub> , тыс. т	Освоенность месторождения	Характеристика аномальной радиоактивности разреза
1	Байтуганское	Франско-турнейский Визейский Окско-башкирский	1250 1203 820, 800	48 350	Экспл.	Глубина залегания 1148–1150, 496–498, 597 м. Интенсивность 220, 400, 84 мкР/час
2	Сокское	Эйфельско-франский Франско-турнейский Визейский	1870 1250, 1400 1247	1588	Законс.	Глубина залегания 398, 500 м. Интенсивность 102 и 96 мкР/час
3	Черновское	Франско-турнейский	1340	1294	Экспл.	Глубина залегания 620, 580–650, 399–450 м. Интенсивность 430, 57–300, 58–126 мкР/час
4	Пашкинское	Франско-турнейский	1575, 1485	3238	Экспл.	Глубина залегания 797, 745, 450–491, 110 м. Интенсивность 79, 52, 308, 140 мкР/час
5	Кирсановское	Франско-турнейский	1340	3121	Экспл.	В районе месторождения на глубине 555–707 м – интенсивность от 93 до 160 мкР/час

Изучая литолого-фациальные особенности и литогенетические типы интервалов размещения аномальной радиоактивности, можно наметить определенную зависимость последних от литолого-фациальной обстановки. Седиментационно-диагенетическая природа целого ряда интервалов с повышенной интенсивностью излучения этого не исключает. Но относительно малая изменчивость преимущественно морских накоплений горизонтов и толщ с аномальной радиоактивностью при локальности аномалий указывает на наличие другого фактора, приведшего к неравномерности размещения на Бугульминской площади аномальной радиоактивности.

Картированием (рис. 2) установлено, что аномальные активности группируются в поля, зоны, области, тяготеющие к конкретным структурам II и III порядков. Нефтегеологические районы, контролирующиеся структурными планами территории, также по-разному проявляют себя в отношении радиоактивности.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ масштаба 1 : 200 000  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ КАРТА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ И ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА  
N-39-XVII (Бузульма)

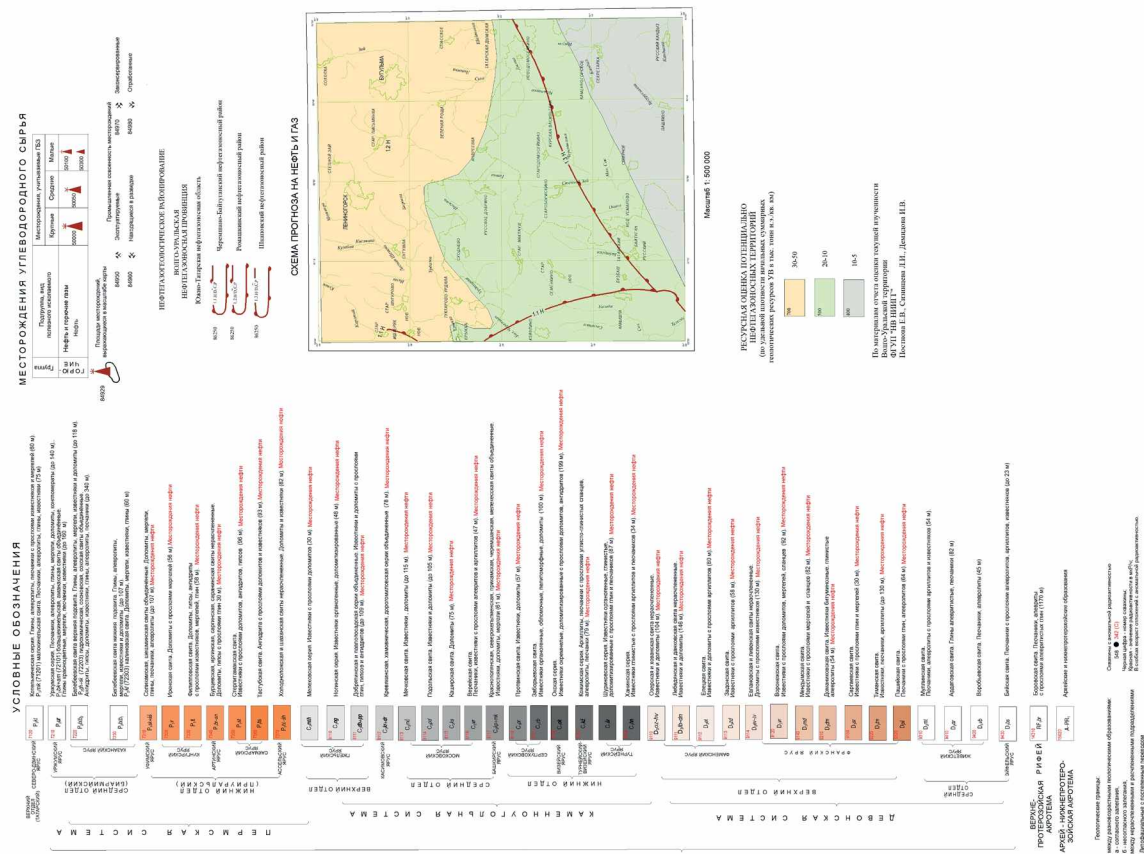
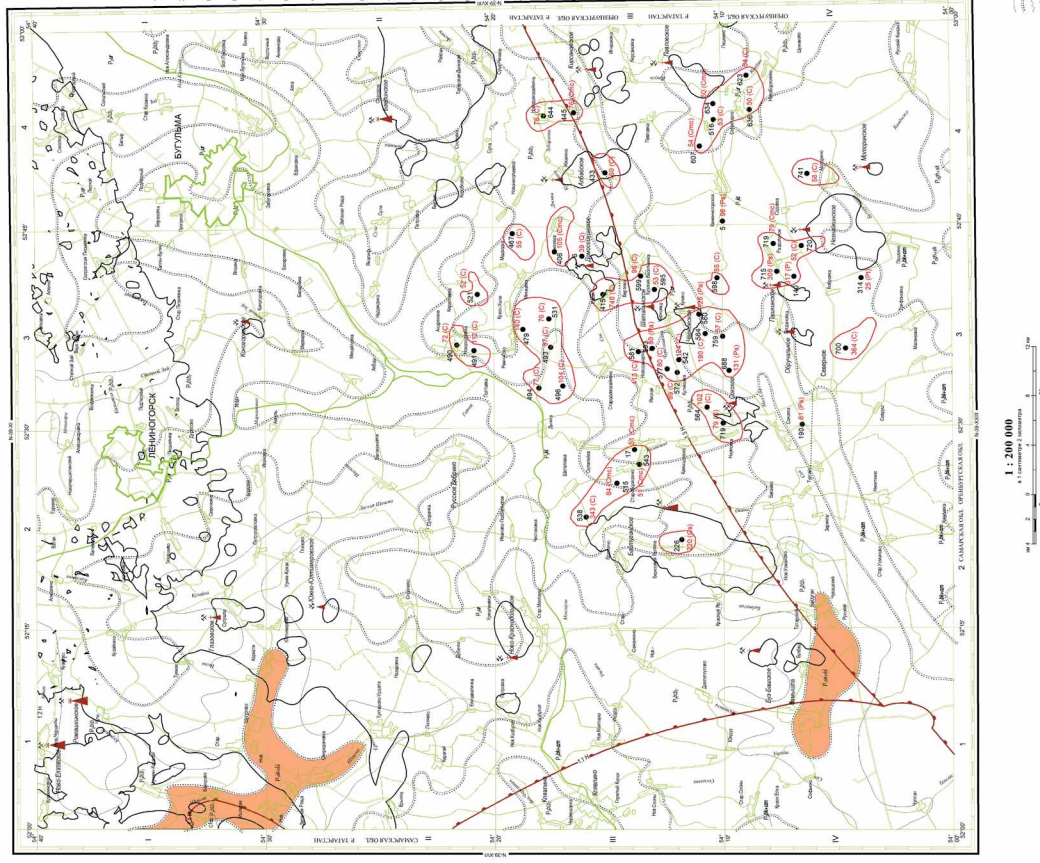


Рис. 2. Предварительная карта закономерностей размещения и прогноза нефти и газа (Бузульминская площадь) (Бугульминская площадь)

**Соотношение в разрезе радиоактивных аномалий и продуктивных пластов некоторых нефтяных месторождений Бугульминской площади (по материалам Д. Г. Тараборина)**

№ п/п	Наименование месторождения	Стратиграфический индекс	
		Продуктивный пласт	Аномальный интервал
1	Байтуганское	C <sub>1t</sub> , C <sub>1v</sub> , C <sub>1s</sub> , C <sub>2b</sub>	C <sub>1s</sub>
2	Сокское	D <sub>3f2</sub> , D <sub>3fm3</sub> , C <sub>1t</sub> , C <sub>1v</sub>	C <sub>3</sub> , P <sub>1s</sub>
3	Черновское	C <sub>1t</sub>	C <sub>2m</sub> , C <sub>3</sub> , P <sub>1a</sub>
4	Пашкинское	D <sub>3fm3</sub> , C <sub>1t</sub>	C <sub>2m</sub> , C <sub>3</sub> , P <sub>1s</sub> , P <sub>2t</sub>

Представленный выше материал позволяет выявить закономерности в размещении глубинной аномальной радиоактивности естественного происхождения в разрезе чехла на изучаемой площади. Размещаясь неравномерно по разным стратиграфическим уровням в нефтегазоносных районах, аномальная радиоактивность во многих случаях установлена в скважинах, расположенных в контуре нефтяных месторождений. Аномалии в нефтеносном разрезе на месторождениях тяготеют в основном к карбонатным, терригенно-карбонатным толщам каменноугольной системы, многие радиоактивные аномалии выявлены в серых, темно-серых доломитах серпуховского яруса нижнего карбона. В Южно-Татарской НГО по одному из пяти месторождений (Байтуганскому) установлено совпадение уровней размещения аномальной радиоактивности и нефтегазоносности в отложениях серпуховского яруса нижнего карбона (табл. 2).

Как показали проведенные исследования и имеющиеся данные по другим нефтегазоносным провинциям, областям, районам, радиационная обстановка на участках размещения нефтепромыслов при наличии глубинной естественной радиоактивности нестабильна и состояние ее безопасности требует постоянного внимания и изучения, проведения мониторинга окружающей среды на действующих нефтяных скважинах [2].

Представленные материалы будут использованы при подготовке авторского варианта комплекта Государственной геологической карты масштаба 1 : 200 000 листа N-39-XVII (Бугульминская площадь) в рамках объекта ФГБУ «Институт Карпинского» «Проведение в 2024–2026 гг. региональных геологосъемочных работ масштаба 1 : 200 000 на группу листов в пределах Уральского и Приволжского ФО».

### Литература

1. Иогансон А. К. и др. Минерагенический блок Легенды Средневожской серии листов ГК-200/2. – Нижний Новгород, 2005. – С. 16.
2. Тараборин Д. Г., Гацков В. Г. и др. Радиология нефтегазоносных районов Западного Оренбуржья. – Оренбург, 2003. – С. 132–135, 142, 145–149, 152, 167.



# НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТРАТИГРАФИЧЕСКОМ НЕСОГЛАСИИ В НИЖНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

Е. А. Делиу<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Тюмень,

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский Индустриальный Университет», Тюмень,

*e\_deliu@vniigaz.gazprom.ru*

Под стратиграфическим перерывом понимается отсутствие стратиграфического интервала в общей стратиграфической последовательности, обычно выраженное поверхностью контакта (рис. 1).

Одним из типов перерывов является скрытое несогласие. Характерными чертами такого вида несогласия являются параллельные слои, где контакт представляет собой простую поверхность напластования или угловое несогласие, с резкой контрастной границей в кровле.

Стратиграфические несогласия, с одной стороны, могут быть связаны с размывом и переотложением ранее сформировавшихся слоев, с другой, осадки могли вовсе не накапливаться.

Периоды формирования осадочных комплексов слагаются из этапов осадконакопления и этапов прекращения седиментации. Во время перерывов седиментации может происходить не только приостановление накопления осадков, но и размыв части ранее отложившихся слоев. В результате отложения комплексов могут быть разделены между собой значительными отрезками времени.

Обоснование перерывов в осадконакоплении выполняется на основе комплекса критериев, таких как изменение строения поверхности (следы выветривания, грубообломочный материал в керне), биостратиграфические исследования (возрастной перерыв между залегающими слоями, доказанный по фауне, микрофауне, спорово-пыльцевым комплексам и другим видам исследований), изменение характера складчатости, резкая смена условий осадконакопления и другие критерии. Достоверность таких исследований напрямую связана с наличием и качеством фактического материала, позволяющего выполнить исследования.

Таким образом, можно выделить несколько основных диагностических маркеров для выявления стратиграфических несогласий:

- региональное «ожидание», т.е. зафиксированное событие на утвержденных схемах литолого-фациального районирования (Шурыгин Б. Н. и др., 2000 г.);
- наличие седиментологической границы;
- изменение литологического состава;
- биостратиграфический анализ;
- наличие определенной группы ихнофаций, фаций *Glossifungites*;
- наличие резкой контрастной границы, отраженной на каротажных диаграммах;
- соотношение отражающих волн сейсмических горизонтов.

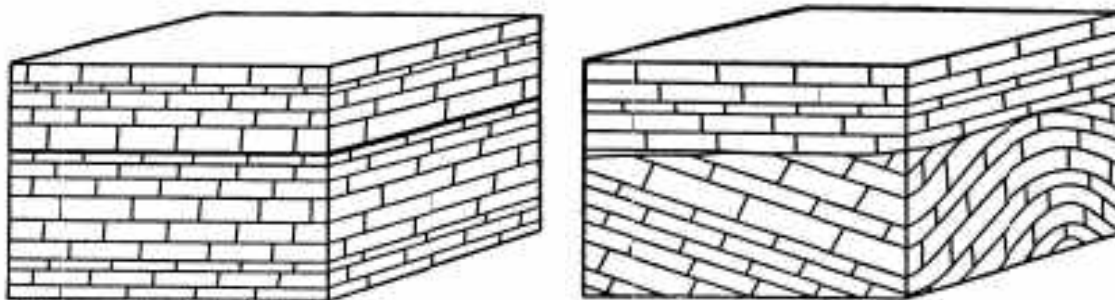


Рис. 1. Типы перерывов

*a* – скрытое несогласие, *b* – структурно-стратиграфическое

Согласно схеме структурно-фациального районирования юрских отложений Сибирской платформы, территория исследования расположена в Лено-Алданской структурно-фациальной зоне Хапчагайского района (I-A-3).

Нижнеюрские отложения в районе исследования представлены кызылсырской свитой ( $J_1kz$ ), на которой вверх по разрезу с размывом залегают отложения сунтарской свиты ( $J_{1-2}sn$ ) (рис. 2.)

Строение кызылсырской свиты ритмичное, в нижней части она представлена преимущественно песчаниками серых грубозернистых, нередко массивных и неяснослоистых [3]. Отложения свиты представлены различными слоевыми ассоциациями, в состав которых входят песчаники от тонко- и мелко- до средне- и крупнозернистых, мелко- и крупнозернистые алевролиты, аргиллиты с неравномерным содержанием алевритовой примеси.

Одним из признаков эрозионной границы является резкая или быстрая смена зернистости пород. Отложения верхней части кызылсырской свиты территории исследования сформировались в условиях мелководного шельфа. Образования субаквальной дельты приурочены к мелководно-морской зоне, где формировались подводные конусы выноса. В пределах внедельтового мелководья состав отложений изменяется от алеврито-глинисто-песчаного до песчано-алеврито-глинистого [4].

Стратиграфическое несогласие на границе между кызылсырской и сунтарской свитами в районе Вилюйской синеклизы было установлено в середине прошлого века (1976 г.). В 2023–2024 гг. на площади исследования пробурены новые скважины с отбором интервалов

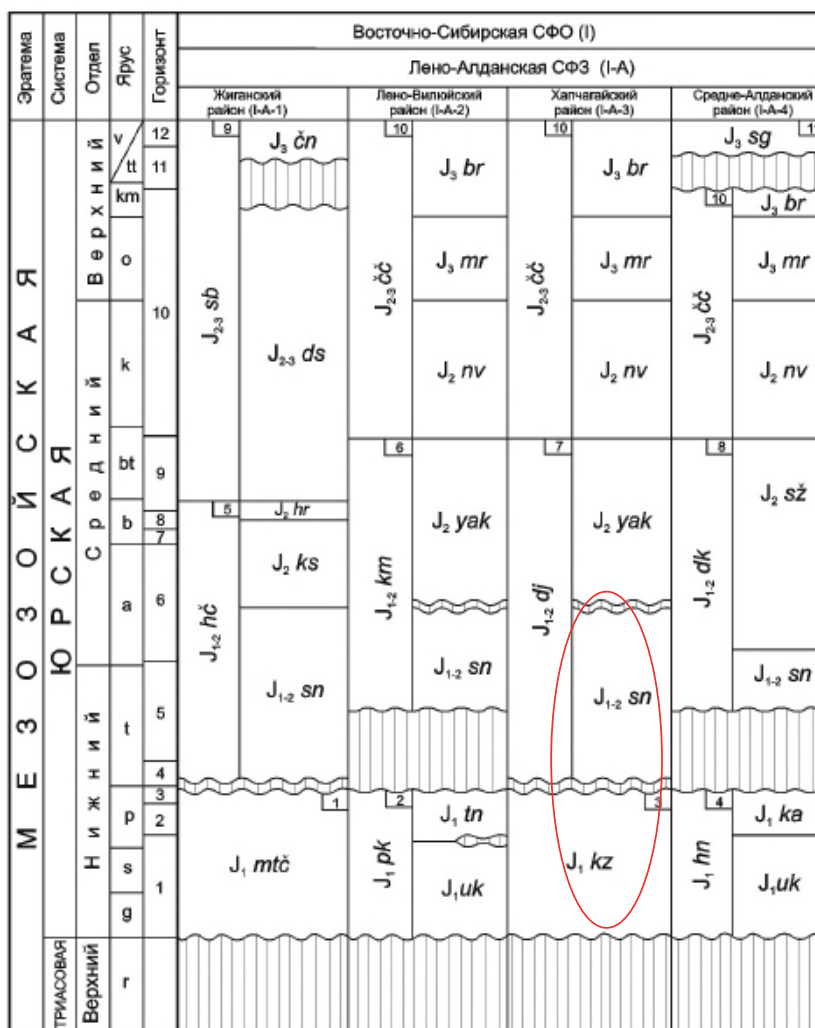


Рис. 2. Схема корреляции юрских отложений Лено-Алданской структурно-фациальной зоны

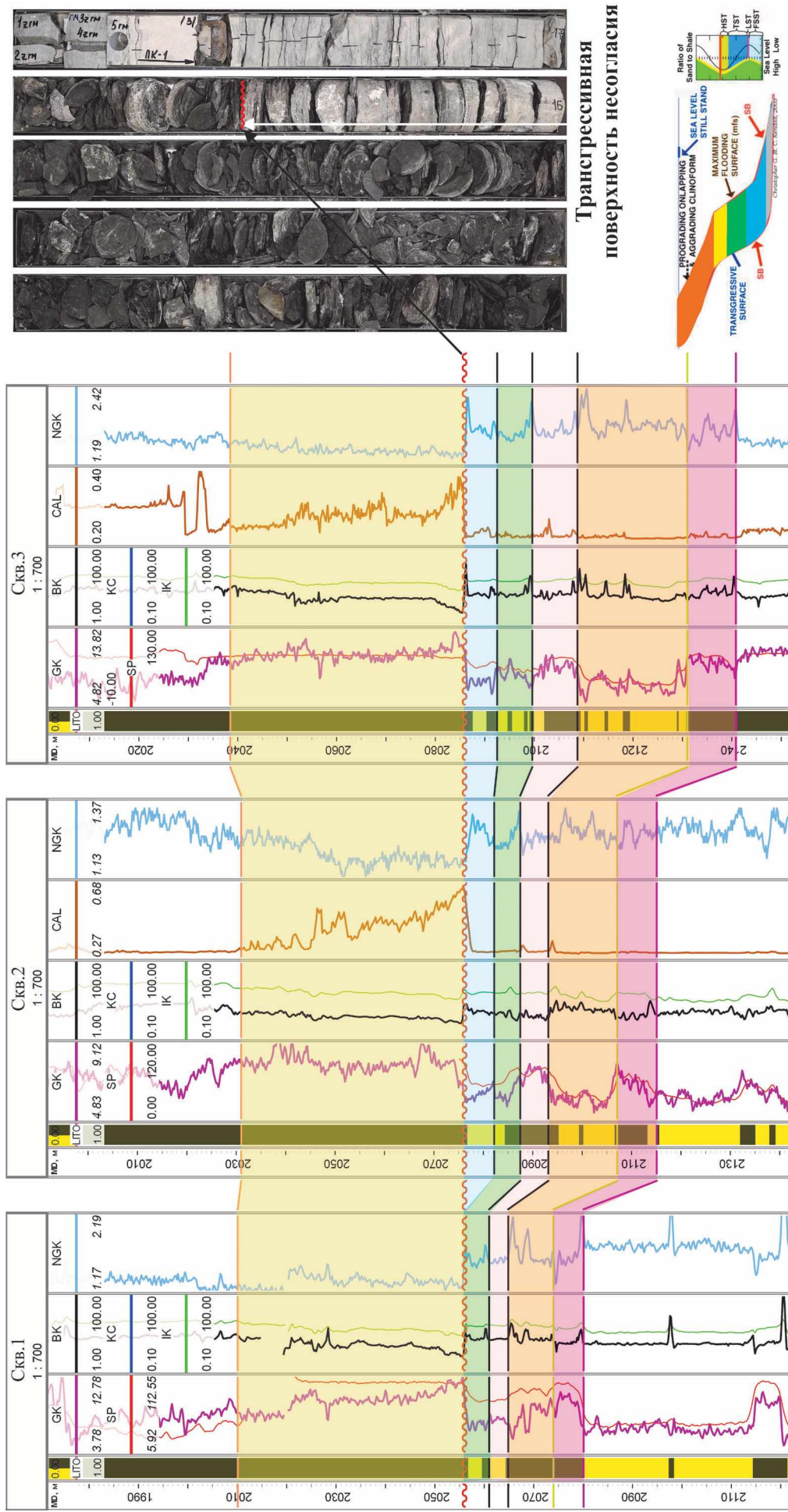


Рис. 3. Пример эрозивной поверхности пласти

керна на границе этих свит. Результаты седиментологического анализа керна подтвердили наличие несогласия в кровле кызылсырской свиты на границе с сунтарской свитой. Привлечение каротажного материала по скважинам без отбора керна позволяет получить границу размыва и возможный объем размыва материала.

Резкая смена тонкозернистых пород на более грубозернистые по керну свидетельствует о трансгрессивной последовательности.

На рис. 3 представлен пример определения границы эрозионной поверхности по каротажу и по интервалам керна.

Выполнена стратиграфическая корреляция разреза, поплавостовая и детальная внутриплавостовая по всей площади работ и дальнейшее картопостроение с целью локализации зон с размываемыми участками поверхности.

Повышению качества прогноза возможных зон аккумуляции на границах стратиграфических несогласий должно способствовать понимание основных особенностей формирования осадочных формаций, стратиграфической приуроченности отдельных уровней, фациальных обстановок накопления осадков.

Выводы. Выполненная детальная корреляция по скважинам исследуемой территории, седиментологический анализ керна по новой скважине, закартированный предполагаемый размыв подтвердили наличие стратиграфического несогласия между кызылсырской и сунтарской свитами в Хапчагайском районе Лено-Алданской структурно-фациальной зоны.

Дальнейшее изучение стратиграфических перерывов требует детальных биостратиграфических исследований.

#### Литература

1. Барабощкин Е. Ю., Веймарн А. Б., Копяевич Л. Ф. и др. Изучение стратиграфических перерывов при производстве геологической съемки. Методические рекомендации. – М. : Изд-во МГУ, 2002. – 163 с.
2. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система / Под. ред. Б. Н. Шурыгина. – Новосибирск, 2000.
3. Гриненко В. С., Князев В. Г. Стратиграфия юрских отложений Хапчагайского и Лено-Виллойского районов: расчленение и межрегиональная корреляция // Отечественная геология. – 2008. – № 5. – С. 72–78.
4. Фролов С. В., Карнюшина Е. Е. и др. Особенности строения, осадочные комплексы и углеводородные системы Лено-Виллойского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. – 2019. – Т. 21, № 2. – С. 13–30.

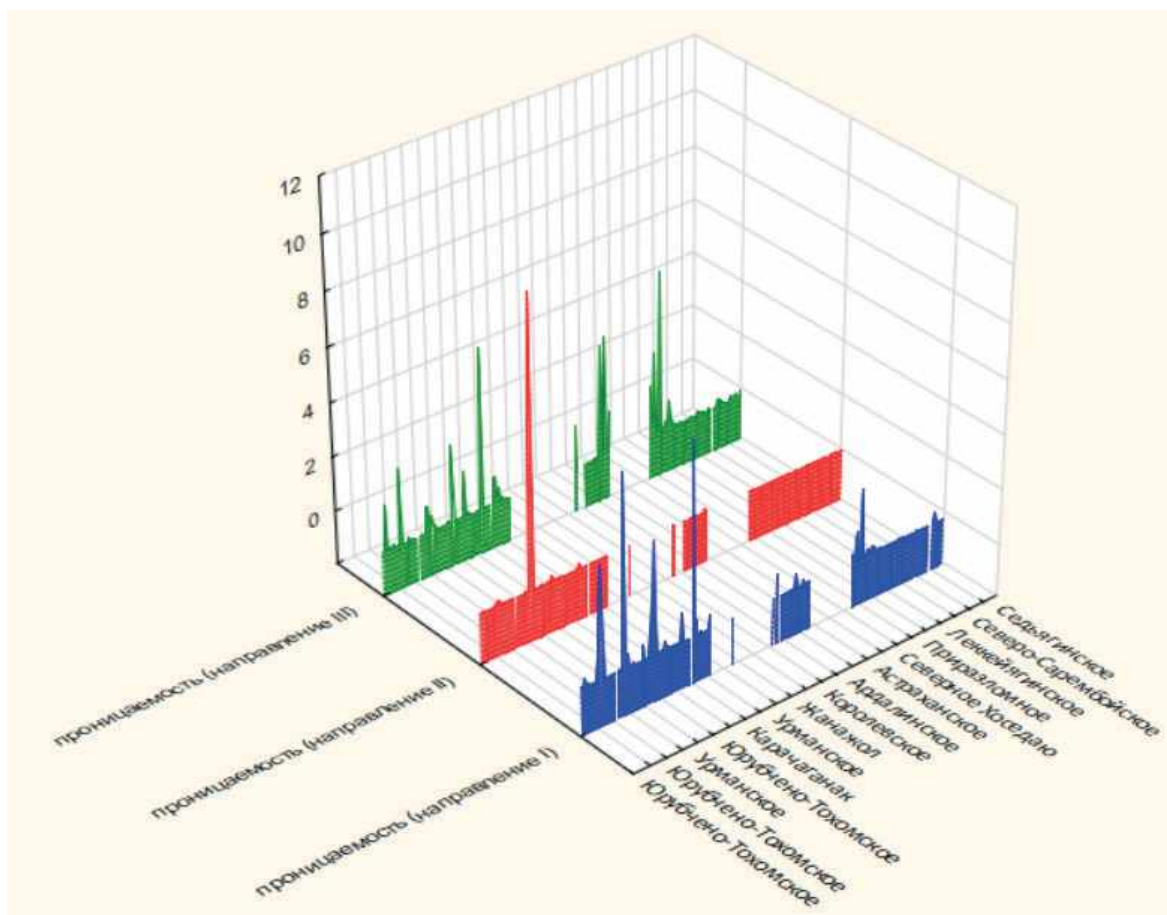
## ПРОБЛЕМЫ И СПОСОБЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

И. А. Довгань, Е. И. Грохотов, А. В. Чумакова

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, Dovgan\_IA@pers.spmi.ru*

Закономерное снижение запасов традиционных залежей с преимущественно поровым типом коллектора обуславливает необходимость изучения объектов, обладающих сложным геологическим строением [8], плотных коллекторов [6] и отложений больших глубин [2]. В данной парадигме важным аспектом изучения становится трещиноватость, играющая важную роль в формировании пустотного пространства и фильтрации флюидов.

Важность изучения трещиноватости обусловлена и необходимостью адаптации существующих и разработки новых методов исследования и моделирования пустотного пространства. Современные технологии геологоразведочных работ, в особенности сейсморазведка 3D и микроимиджеры позволяют получать более детальную информацию о свойствах трещиноватых зон, что критически важно для успешного освоения объектов, обладающих сложной структурой пустотного пространства и значительной анизотропией проницаемости [5] (рис. 1). Таким образом, актуальность изучения трещиноватости пород-коллекторов обусловлена не только истощением традиционных месторождений, но и возможностью открытия новых перспективных объектов, требующих глубокого понимания структуры пустотного пространства и механизмов его формирования.



**Рис. 1. Измерения проницаемости трещиноватого коллектора в трех направлениях фильтрации [составлено авторами]**

Стоит подчеркнуть необходимость интерпретации геолого-геофизических данных, ориентированной на изучение параметров трещиноватости, для каверново-трещинных, порово-каверново-трещинных отложений с полигенной природой образования пустотного пространства – карбонатных и плотных коллекторов, залежей больших глубин и кор выветривания фундамента. В настоящее время существует множество подходов к изучению трещиноватости.

Наиболее информативно изучение трещиноватых пород прямыми методами на основе ориентированного полноразмерного керна. К эффективным методам изучения параметров трещиноватости относится рентгеновская томография, исследования кубических образцов керна методом капиллярной пропитки люминофором (по К. И. Багринцевой) и измерение анизотропии проницаемости в трех направлениях фильтрации, изучение больших шлифов (разработан коллективом ВНИГРИ). Данные трещиноватости, полученные по результатам исследований керна, являются основой для сейсмогеологического прогноза трещиноватости, однако есть ряд существенных ограничений, связанных с масштабируемостью данных исследований; размером трещин, превосходящих размеры образцов керна; образованием техногенных трещин при бурении и недостаточным выносом керна в сильно трещиноватых интервалах.

Основными методами локализации зон повышенной трещиноватости и прогноза свойств трещин являются данные геофизических исследований скважин (ГИС) и сейсморазведочных работ. При интерпретации данных геофизических исследований скважин наиболее информативны данные электрических и акустических микроимиджеров (электрический микроимиджер (FMI), азимутальный электромагнитный микроимиджер (OBMI), азимутальный электромагнитный микроимиджер (Quanta Geo) и акустический микроимиджер (Sonic Scanner), однако в настоящее время эти методы не могут быть использованы в полной мере ввиду ограниченного наличия данных, в особенности для старого фонда скважин. В условиях ограниченных данных

специальных геофизических исследований скважин возможно применение стандартного комплекса ГИС. Отмечается, что наиболее информативно использование методов, основанных на измерении электрических и акустических параметров среды [4] (рис. 2), что обусловлено характером взаимодействия физических полей и трещиноватой среды.

Основными методами, на основе которых оцениваются параметры трещиноватости, являются интервальное время поперечной волны и волны Стоунли [9]; акустический, гамма-гамма плотностной и нейтронный каротаж [2]; удельное электрическое сопротивление [2].

Данные сейсморазведочных работ, несмотря на ограничения, связанные с низкой вертикальной разрешенностью относительно размеров трещин, являются основой для латерального прогноза трещиноватости. Применимость данных сейсморазведочных работ к исследованию трещиноватости может быть обоснована двумя положениями. Во-первых, появление трещин приводит к изменению модулей упругости и значений продольных и поперечных скоростей [7]. Во-вторых, трещины имеют фрактальную природу, иначе говоря, отвечают принципу самоподобия на разных масштабах [1]. В настоящее время основными методами оценки трещиноватости, по данным сейсморазведки, являются сейсмический атрибутивный анализ, анализ аномалий дифрагированного волнового поля, полно-азимутальные сейсмические исследования, сейсмическая инверсия и азимутальная синхронная инверсия (АВОаз).

В рамках исследования выполнена оценка трещиноватости для раннедевонских карбонатных отложений одного из участков Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Коллекторами являются доломиты пористые, кавернозные и трещиноватые, тип коллектора – преимущественно трещинно-каверново-поровый. Оценка трещиноватости выполнена по данным стандартного комплекса ГИС: акустического, плотностного, радиоактивного и бокового каротажа, а также бокового микрокаротажа. Результаты оценки трещиноватости, по данным сейсморазведки и ГИС, 56 скважин сопоставлены с данными исследований ядра 5 скважин и интерпретированными данными FMI для 1 скважины. Латеральный прогноз трещиноватости выполнен на основе комплексного анализа петрофизических параметров и сейсмических атрибутов. Апробация методик изучения трещиноватости позволила сделать ряд выводов:

– прогноз трещиноватости по данным стандартного комплекса ГИС наиболее эффективен с использованием методик расчета на основе акустического, гамма-гамма плотностного и нейтронного каротажа и удельного электрического сопротивления;

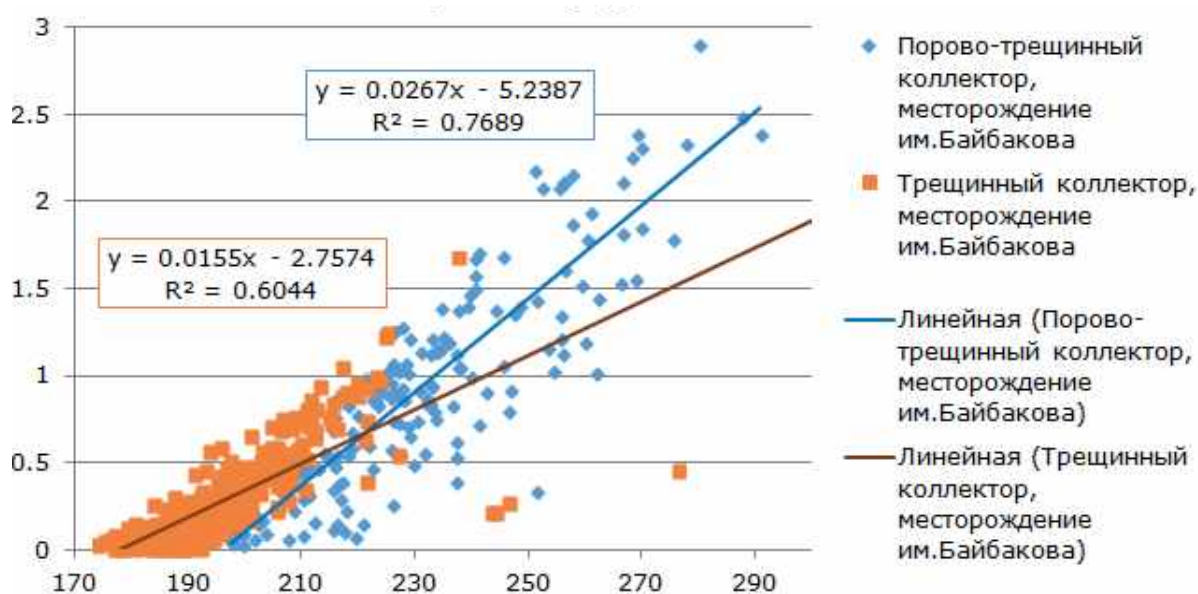


Рис. 2. Зависимость трещинной пористости от интервальной скорости продольной волны на примере данных месторождения им. Байбакова (составлено авторами)

– наиболее применимыми атрибутами для оценки трещиноватости, по данным полнократного сейсмического куба, являются геометрические атрибуты, позволяющие выделять макroneоднородности, к которым приурочены зоны трещиноватости: когерентность, дисперсия, кривизна, затухание спектра, углы наклона и хаос;

– выделение зон трещиноватости осуществляется на основе комплексной интерпретации геометрических и динамических характеристик волнового поля;

– прогноз параметров трещиноватости на микроуровне выполняется на основе регрессионного анализа полученных петрофизических параметров с использованием атрибутного анализа и последующей интерполяции на основе предположения о фрактальной природе трещин;

– итерационный подход и комплексирование разномасштабной информации о развитии трещиноватости позволяют оценить латеральную изменчивость трещин в межскважинном пространстве и выполнить построение геологической модели двойной среды, которая может быть использована для дальнейших расчетов при гидродинамическом моделировании;

– латеральный прогноз и обоснование типа трещиноватости (открытая/закрытая), по данным сейсморазведочных работ, затруднены.

**Выводы.** Необходимость комплексных исследований трещиноватости обусловлена рядом факторов. Отмечается, что трещиноватость оказывает значительное влияние на анизотропию проницаемости коллекторов. При этом, для трещинной среды характерно многообразие причин возникновения, видов и масштабов образования, ввиду чего сопоставление данных трещиноватости, полученных разномасштабными исследованиями, зачастую некорректно. Основой прогнозирования трещиноватости по данным сейсморазведочных работ, ГИС и керна с макроуровня на микроуровень является допущение, что трещины имеют фрактальную природу. В заключение следует отметить необходимость интегрированных исследований, которые базируются как на различных петрофизических характеристиках трещиноватых пород, так и на масштабах измерений.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания «Исследование термодинамических процессов Земли с позиции генезиса углеводородов на больших глубинах», шифр FSRW-2024-0008.*

### Литература

1. Авербух А. Г., Граф С. Ю., Ахметова Э. Р. и др. Построение геофизической модели трещиноватого коллектора по данным сейсморазведки // Экспозиция Нефть Газ. – 2017. – № 3(56). – С. 18–22.
2. Боронин П. А., Гильманова Н. В., Москаленко Н. Ю. Выделение интервалов трещиноватости и обоснование параметров трещин отложений доюрского комплекса // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2021. – № 1. – С. 9–19.
3. Двойников М. В. и др. Бурение глубоких и сверхглубоких скважин с целью поиска и разведки новых месторождений полезных ископаемых // Записки Горного института. – 2022. – Т. 258. – С. 945–955.
4. Жуков В. С. Экспериментальные исследования влияния трещин на петрофизические свойства коллекторов // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2022. – № 3(52). – С. 68–77.
5. Закиров Э. С. и др. Апробация методики определения анизотропии проницаемости в трещиноватых карбонатных пластах по данным 3D гидропрослушивания // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2023. – № 4 (43). – С. 31–43.
6. Прищепина О. М., Синуца Н. В., Ибатуллин А. Х. Оценка влияния литолого-фациальных условий на распределение органического углерода в «доманиковых» верхнедевонских отложениях Тимано-Печорской провинции // Записки Горного института. – 2024. – № 268. – С. 535–551.
7. Яковлев И. В., Смирнов К. А. Современное состояние методов прогноза трещиноватости по сейсмическим данным // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2023. – Т. 8, № 3. – С. 84–92.
8. Egorov A., Antonchik V., Senchina N. et al. Impact of the Regional Pai-Khoi-Altai Strike-Slip Zone on the Localization of Hydrocarbon Fields in Pre-Jurassic Units of West Siberia // Minerals. – 2023. – Vol. 13. – P. 1511.
9. Umirova G. K., Suleimenov A. O. Use of special high-technology geophysical equipment (hitech) in analysis of mechanical characteristics, anisotropy and rock functions in the example of the southern part of the Zhanazhol // Engineering Journal of Satbayev University. – No. 143(5). – P. 24–38.

# НАПРАВЛЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ДЕНИСОВСКОЙ ВПАДИНЫ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Е. В. Колесников

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, egor.02.07@mail.ru*

Денисовская впадина (400 × 40–70 км) является сложнопостроенной отрицательной структурой первого порядка, которая занимает центральную часть Печоро-Колвинского авлакогена и обладает наибольшей выраженностью по отложениям верхнего палеозоя и мезозоя [9]. В современном структурном плане исследуемая юго-восточная часть Денисовской впадины представлена Лодминской перемычкой, граничащей с Большесынинской впадиной. Согласно нефтегазогеологическому районированию, изучаемая территория принадлежит к Лайско-Лодминскому нефтегазоносному району Печоро-Колвинской нефтегазоносной области [9].

Изучение Денисовской впадины долгое время считалась бесперспективным направлением геологоразведочных работ. Первые сейсморазведочные работы МОВ были начаты в 1964 г. К 1974 г. в южной части Денисовской впадины были выделены Верхнелодминское и Нижнелекбюское поднятия, а также Верхнеамдермаельское, Усть-Юрьяхинское и Трошское структурные осложнения. В 1973–1975 г. осуществлялось бурение параметрической скв. 1-Верхняя Лодма, которая на забое вскрыла нижнесилурийские отложения. По результатам бурения было установлено отсутствие среднедевонских песчаников и выявлены перспективные силурийские карбонатные отложения и рифогенные образования доманиково-позднефранского возраста. В результате испытаний 8 объектов в технической и эксплуатационной колонне были получены притоки минерализованной воды с водорастворенным газом, отмечались повышенные значения по газовому каротажу.

Результаты структурно-поискового бурения в течение продолжительного времени были отрицательными. В единичных скважинах проявлялись прямые признаки нефтегазоносности на определенных интервалах разреза палеозойских отложений. Первым крупным открытием в юго-восточной части Денисовской впадины является Баяндыское месторождение нефти в 2007 г. На месторождении выявлено шесть залежей, из которых 4 приурочены к нижнефаменским (задонским и елецким) карбонатным отложениям рифогенного генезиса. Позднее в нижнефаменских рифогенных отложениях были выявлены залежи на Восточно-Ламбейшорском, Верхнеипатском, Прохоровском и Южно-Баяндыском месторождениях, а также на месторождении имени А. Алабушина и группе Командиршорских месторождений. Факт открытия данных месторождений, которые сегодня обеспечивают значительную долю добычи компании ЛУКОЙЛ, заставляет пересмотреть существовавшие представления о перспективах нефтегазоносности палеозойских отложений Денисовской впадины [3].

Однако, по мере разведки месторождений и последующего их ввода в разработку, компания столкнулась с целым рядом проблем как геологического, так и технологического характера. Подобное стечение обстоятельств обусловлено факторами: сложностью геологического строения изучаемого стратиграфического интервала, отсутствие опыта недропользователя в разведке и разработке подобного рода объектов, а также неточностью принятой концептуальной модели осадконакопления. Для решения данного спектра задач было принято решение применить секвенс-стратиграфический подход к изучению карбонатных рифогенных построек.

Создание новой концептуальной модели осадконакопления позволило уточнить геологическое строение залежей, повысить достоверность подсчета запасов и оценки ресурсов, снизить риски неподтверждения ресурсного потенциала перспективных рифогенных структур. Наиболее важными прикладными значениями, созданной концептуальной модели осадконакопления являются результаты успешного планирования разведки и доразведки месторождений и структур, а также эффективной разработки продуктивных отложений [5].



Для создания модели осадконакопления необходимо в полной мере понимать специфику процессов формирования и вещественный состав нефтегазоносного комплекса (НГК). Доманиково-турнейский карбонатный НГК Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции характеризуется сложным сочетанием карбонатных и глинистых мелководно-шельфовых отложений, относительно глубоководных глинисто-кремнисто-битуминозных образований доманиковых и доманикоидных фаций, карбонатно-глинистых толщ заполнения некомпенсированных впадин и рифогенных образований, формировавшихся вдоль края мелководного шельфа и на поднятиях внутри зоны некомпенсированной впадины с толщинами до 1000–2000 м.

С позиции секвентной стратиграфии Доманиково-турнейский НГК соответствует части среднедевонско-турнейской секвенции второго порядка [7]. Его нижняя граница фиксируется поверхностью максимального затопления шельфа, а кровля соответствует системе низкого положения ОУМ, совпадающей с предвизейским размывом. Для рассматриваемого нефтегазоносного комплекса цикличность процессов седиментации обусловлена эвстатическими колебаниями уровня моря при общем, но разном интенсивном погружении дна в пределах отдельных тектонических элементов Тимано-Печорского седиментационного бассейна и быстрой скорости аккумуляции в мелководно-шельфовой обстановке. Циклическая природа процессов седиментации привела к очень сложному полифациальному строению доманиково-турнейского НГК, он состоит из многовариантного сочетания пород-коллекторов, покровов и рассеивающих толщ.

В составе рассматриваемой секвенции второго порядка выделяются франкий, фаменский и турнейский циклы седиментации. В свою очередь секвенции третьего порядка разделяются на секвенции четвертого порядка, которых в Тимано-Печорском седиментационном бассейне семь: тиманско-ветласская ( $D_3f_1-Df_3^1$ ), сирачойско-евлановская ( $Df_3^2-Df_3^3$ ), ливенско-волгоградская ( $Df_3^2-D_3fm_1^1$ ), задонско-нижнеустьпечорская ( $D_3fm_1^{1-2}-D_3fm_2^1$ ), верхнеустьпечорско-гумеровская ( $D_3fm_2^2-C_1t_1^1$ ), малевско-висимская ( $C_1t_1^2-C_1t_2^1$ ) и черепетско-козьвинская ( $C_1t_2^2-C_1v_1^1$ ) [2]. Они ограничены поверхностями несогласий под трансгрессивными отложениями на мелководном шельфе и коррелятивными им поверхностями в глубоководье. Мелководный шельф последовательно наращивался проградирующими отложениями и смещался на восток, в сторону Уральского палеокеана. В юго-восточной части Денисовской впадины продуктивные отложения приурочены к задонско-нижнеустьпечорской секвенции четвертого порядка, в составе которой выделяются задонский и елецкий секвенсы пятого порядка.

Согласно многочисленным исследованиям, проведенным в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, резервуары в рифовых системах можно разделить на простые и сложные. Простые известны в рифовых системах доманикового, сирачойского и евлано-ливенского возраста, когда они разобщены в пространстве [1]. Сложные резервуары в зоне распространения рифовых систем подразделяются на два подтипа. Первые возникали при объединении пустотного пространства рифовых массивов и карбонатных мелководношельфовых пластов облекания, что закономерно при развитии над рифами зон трещиноватости и отсутствии над ними качественных экранов. Вторые формировались при совмещении двух (и более) разновозрастных рифовых систем. Благодаря накопленному объему геолого-геофизической информации установлено, что в юго-восточной части Денисовской впадины в доманиково-задонских отложениях выявлена Лодминско-Баяндынская карбонатная банка, являющаяся примером изолированной платформы, в то время как органогенные постройки елецкого возраста имеют больше сходства с окаймленными, барьерными постройками [8; 10]. Таким образом, при современном уровне изученности, резервуар рифовых систем юго-восточной части Денисовской впадины является сложным и принадлежит ко второму подтипу.

В пользу гипотезы о сложнопостроенном рифовом резервуаре говорят исследования, проведенные В. Г. Кузнецовым. Так, в органогенных постройках в некомпенсированной впадине сейчас известны только резервуары комплексные, сложные, состоящие из массивной – собственно рифовой части и пластовой – мелководношельфовой. Форма и размеры резервуаров

в рифах во впадине обусловлены типом постройки и фациальным набором пород, ее слагающих. Более крупные сооружения имеют внешнюю кольцевую зону, по строению напоминающую барьерный риф, и внутреннюю, лагунную часть, аналог зарифовых мелководно-шельфовых образований. Подобное строение резервуаров соответствует атоллвидным ловушкам по классификации В. Г. Кузнецова [6].

Анализ большого объема геолого-геофизической информации, полученной в ходе изучения Тимано-Печорского седиментационного бассейна, позволил применить секвенс-стратиграфический подход к изучению нижнефаменских рифогенных образований юго-восточной части Денисовской впадины. Результатами применения концептуальной модели осадконакопления, построенной на секвенс-стратиграфической основе, являются:

- актуализация сейсмофациальных и геологических моделей месторождений, расположенных в регионе исследований;
- изменение характера пространственного распределения параметров коэффициента пористости и коэффициента нефтенасыщенности;
- изменение и корректировка эффективных толщин.

Полученные результаты позволяют повысить достоверность подсчета запасов, а также помогают создать более эффективную систему разработки залежей, что в свою очередь влияет на представление о нефтегазгеологических перспективах юго-восточной части Денисовской впадины.

На фоне успехов компании ЛУКОЙЛ, остается до конца невыясненным вопрос, касательно перспектив задонских отложений. Согласно имеющейся на сегодня геолого-геофизической информации, подавляющее большинство запасов, приуроченных к доманиково-турнейскому нефтегазоносному комплексу на месторождениях юго-восточной части Денисовской впадины, сосредоточены в елецких отложениях. Данный вопрос подкрепляется величиной освещенности керновым материалом. Так, для задонского интервала разреза она составляет от 0,9 до 37,7 % от общей толщины комплекса, в то время как для елецких отложений аналогичный показатель равен 14,7–95,0 % . Располагая подобной статистикой, следует сделать вывод касательно рекомендаций при бурении последующих поисково-оценочных и разведочных скважин. С целью сбора геологической информации, необходимой для построения более точной секвенс-стратиграфической концептуальной модели осадконакопления задонских отложений, рекомендуется производить сплошной отбор керна или же его объем должен позволить повысить существующую освещенность по данному интервалу. Также в задонском интервале разреза рекомендуется производить испытания скважин как в открытом стволе, так и в обсадной колонне, выполнение этой рекомендации поможет в решении вопросов положения водо-нефтяного контакта и позволит уточнить запасы на месторождениях.

Таким образом, дальнейшие работы в доманиково-турнейском НГК Денисовской впадины требуют детализации строения природных резервуаров нефти и газа на основе применения секвенс-стратиграфического подхода при корреляции отложений, тщательного литолого-фациального анализа при 3D геологическом моделировании для актуализации подсчета запасов и проектирования систем разработки месторождений. Совершенствование новых методических подходов при изучении сложнопостроенных нефтепоисковых объектов является весьма актуальной задачей, которая повысит эффективность дальнейших геологоразведочных работ на нефть и газ в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

## Литература

1. Атлас геологических карт Тимано-Печорский седиментационный бассейн / Никонов Н. И., Богацкий В. И., Мартынов А. В., Ларионова З. В. и др. – Ухта : Изд-во ООО «Региональный дом печати», 2000.
2. *Беляева Н. В.* Модель седиментации франско-турнейских отложений на северо-востоке Европейской платформы // Автореф. докт. дисс. – М. : МГУ, 2000. – 50 с.
3. *Горбачева М. Ю., Соловьев С. И., Обухов А. А.* и др. Геологическое строение и условия формирования нижнепермских отложений в пределах южной части Денисовской впадины // Сборник научных трудов специалистов ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг». – Сыктывкар : Изд-во ООО «Коми республиканская типография», 2022. – С. 84–92.

4. Жемчугова В. А. Резервуарная седиментология карбонатных отложений. – М. : ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2014. – 232 с.
5. Жемчугова Т. А., Ладейщиков С. В., Дорофеев Н. В. Создание новой концептуальной 3D модели рифовых отложений месторождений и перспективных структур Южно-Хорейверского участка / Под ред. Р. В. Агиней // Рассохинские чтения: Материалы международной конференции. – Ухта : Изд-во Ухтинского государственного технического университета, 2023. – С. 24–28.
6. Кузнецов В. Г. Эволюция и цикличность палеозойского рифообразования в пределах России и смежных государств // Литология и полезные ископаемые. – М. : Изд-во Наука, 1996. – С. 115–126.
7. Ларионова З. В., Богацкий В. И., Никонов Н. И. и др. Эволюция Тимано-Печорского седиментационного бассейна (с позиций sequence stratigraphy // Тезисы докладов Второго международного симпозиума «Био- и секвенс-стратиграфия нефтегазоносных бассейнов». – СПб. : Изд-во ВНИГРИ, 1997. – С. 54–55.
8. Никонов Н. И., Богацкий В. И., Мартынов А. В. и др. Тимано-Печорский седиментационный бассейн (объяснительная записка к Атласу геологических карт, 2000). – Ухта : ТП НИЦ, 2002. – 122 с.
9. Прищепина О. М., Богацкий В. И., Макаревич В. Н. и др. Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т. 6., № 4. – URL: [http://www.ngtp.ru/rub/4/40\\_2011.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf) (дата обращения: 24.09.2024).
10. Сенин С. В., Никонов Н. И., Саетгараев А. Д. и др. Уточнение модели строения среднефранско-нижнефаменских рифогенных отложений Денисовского прогиба // Материалы юбилейной научно-практической конференции посвященной 85-летию Тимано-Печорского научно-исследовательского центра: Сборник докладов. – Ухта: Изд-во ТП НИЦ, 2023. – С. 12–20.
11. Wright V. P., Burchette T. P. Shallow-water carbonate environments // Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy, Blackwell Science. – Oxford, 1996. – P. 325–394.

## **ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПИЛЬТУН-АСТОХСКОГО НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

К. А. Комин

*Федеральное государственное бюджетное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, komin.k@mail.ru*

Нефтегазовая промышленность является ключевым сектором мировой экономики, играя важную роль в обеспечении энергетической безопасности и экономического развития. Однако эффективное извлечение углеводородов из недр подземных пластов часто сталкивается с рядом технологических сложностей. Одним из критически важных аспектов в процессе бурения и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений является призабойная зона пласта, которая имеет прямое воздействие на производительность скважин и общую эффективность добычи.

В процессе добычи углеводородов важной задачей является оптимизация геологической разведки объекта разработки. Оптимизация подразумевает либо уменьшение объемов разведки, либо снижение затрат на них за счет более точных лабораторно-аналитических работ и корректного подбора комплекса мероприятий и оборудования.

Полевые поисково-разведочные работы на Сахалинском шельфе достаточно серьезно ограничены по времени и составляют не более 5 месяцев; на его примере отрабатывались методики ПРР в условиях замерзающих морей. Геологоразведка в акваториях арктического шельфа обязана отличаться своей полнотой и качеством. Поисково-разведочные скважины, бурящиеся на шельфе, должны создаваться ровно в тех точках, где скопления углеводородов окажутся максимальными. Потому что любая неэффективная трата природных и человеческих ресурсов на шельфе окажет пагубное влияние на всю экономическую составляющую проекта разработки. В связи с тенденцией проводить разведку морских месторождений нефти и газа ограниченным числом скважин, изучение эффективной толщины пластов-коллекторов с их фильтрационно-емкостными свойствами по площади возможно только на основе использования сейсмических данных с подтверждением основных закономерностей их изменения скважинами.

Шельф Охотского моря в пределах Пильтун-Астохского месторождения представляет собой мелководную плоскую равнину современной абразионно-аккумулятивной отмели. Рельеф дна слегка волнистый и пологий. Инженерно-геологические условия Пильтун-Астохского месторождения характеризуются как сложные, ввиду наличия:

- погребенных плейстоценовых палеодолин (в них фиксируются высокое положение уровня грунтовых вод и слабая дренированность пород);
- сложного строения литологических комплексов и активного проявления литодинамических процессов (локальные размывы морского дна и накопление обломочного материала, деформации побережья во время сильных штормов).

Пильтун-Астохская мегантиклинальная складка входит в Одоптинскую антиклинальную зону, которая простирается вдоль шельфа Охотского моря в Северо-Восточной части о. Сахалин на расстояние около 150 км. Возраст терригенных пород, слагающих смятый в складки осадочный чехол, относится к кайнозою.

В структурном плане Одоптинская антиклинальная зона подразделяется на три мегантиклинальные складки: Одоптинскую, Пильтун-Астохскую и Аркутун-Дагинскую. На Пильтун-Астохской мегантиклинали выделяется два поднятия, которые контролировали пространство во время осадкоотложения: Пильтунское и Астохское. Пильтунское поднятие делится на два тектонических блока: I и II, разделенных между собой тектоническим нарушением.

1. Блок I – основной участок эксплуатационного бурения. Зона с уверенными определениями градиентов пластового давления, позволяющих достоверно оценить положения УСВ и ГНК.

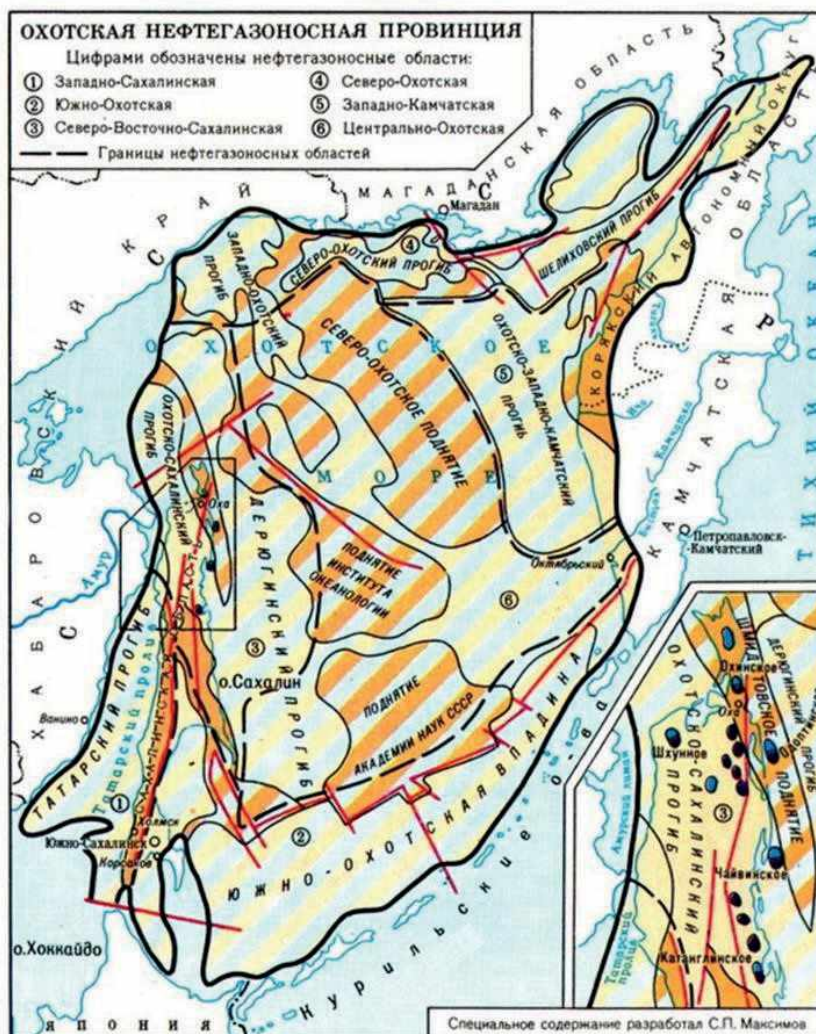


Рис. 1. Карта тектонического районирования охотской нефтегазоносной провинции

2. Блок II – недоизученный участок, редкая сетка скважин. Зона, в которой практически отсутствуют определения градиентов давления, положения флюидальных контактов в большинстве случаев приняты по середине расстояния между нижними дырами перфорации, где получена нефть (газ) и верхними дырами перфорации, где получена вода (нефть). По результатам выполненного пересмотра геологической модели, выделяемые ранее блоки и участок в представляемой модели объединены в единый гидродинамически связанный объект.

Тектоническое нарушение имеет надвиговый характер и впоследствии претерпел сложные процессы сжатия и инверсии в кайнозое. Процесс формирования тектонических нарушений генетически связан с наличием тектонически активных зон в фундаменте мелового периода и с процессами складкообразования в период формирования Сахалинской складчатости. Выделяемая система нарушений является гидродинамическим барьером (палеоврезом, заполненным глинами). Наличие этих непроницаемых для углеводородных флюидов нарушений обуславливает различные уровни ВНК на близлежащих скважинах, находящихся в разных блоках разработки. Скорее всего, кроме вертикальных смещений, для разломов характерно и диагональное перемещение, так как на их формирование существенное влияние оказал правосторонний сдвиг, где горизонтальная компонента перемещения была значительной. Кроме того, эти сдвиговые деформации могут являться индикаторами флюидодинамической активности и разуплотнения земной коры.

Существует мнение, что нефтегазоносные проявления в данном регионе можно рассматривать по причине грязевого вулканизма. На то указывают следующие факторы:

- наличие в разрезе флюидоупоров (толстых непроницаемых глин);
- присутствие грунтовых вод, размягчающих глинистые породы;
- наличие тектонических разрывов [6].

Согласно принятому районированию, Пильтун-Астохское месторождение приурочено к нефтегазовому бассейну восточного шельфа северного Сахалина (рис. 1), к которому также относятся месторождения Одоптинское, Чайвинское, Венинское, Аркутун-Дагинское, Лунское, находящиеся в эксплуатации.

С геологической точки зрения, месторождение имеет сложное многопластовое строение с литологическими заменами, разрывными нарушениями и значительной изменчивостью фильтрационно-емкостных свойств пластов. Залежи нефти и газа относятся к структурным антиклинальным пересеченным структурам с литологическими заменами и выклиниваниями коллекторов. Тип коллектора – поровый.

На текущий момент на Пильтунском участке разрабатываются восемь пластов. Пласт XXI-s разделен тектоническими нарушениями и литолого-стратиграфическими барьерами на четыре изолированные залежи.

Основной проблемой, с которой столкнулись в процессе разработки месторождения, являются обильные пескопроявления из высокопроницаемых пропластков. Осыпи стенок скважины и дифференциальные прихваты бурильных колонн ожидалось сразу, это влекло за собой очень аккуратный подбор бурового раствора и конструкции скважины. Уже в процессе добычи УВ с пескопроявлениями и осыпями начали бороться штуцерованием и полной дистанционной изоляцией. Спустя время на месторождении начали применяться фильтры с гравийной набивкой.

С вовлечением высокопроницаемых интервалов в скважинах наблюдались прорывы газа из газовой шапки. Это привело к быстрому росту ГНФ и, как следствие, высоким темпам падения пластового давления. Впоследствии было принято решение о переоборудовании существующих скважин с установкой систем интеллектуального заканчивания для регулирования отборов из высокопроницаемых пропластков, но от данного типа заканчивания пришлось отказаться из-за частого выхода из строя оборудования. Контрольные линии управления забойными штуцерами во многих скважинах были повреждены вследствие выноса песка из высокопроницаемых интервалов (рис. 2).



**Рис. 2. Отверстия в колонне НКТ после обильных пескопроявлений**

С введением новых скважин для предупреждения выноса песка и выхода из строя скважинного оборудования высокопроницаемые пласты не перфорировались. По результатам моделирования был сделан вывод, что поводом для выноса песка является низкое пластовое давление и величина депрессии. Данные моделирования были подтверждены образцами с устьев скважин, в которых присутствовал песок. Для каждой скважины были определены минимальные значения забойного давления, при котором исключается вынос песка.

Различные ФЕС как по разрезу, так и по латерали в пределах продуктивных пластов, а также относительно более низкие коллекторские свойства пластов в законтурной области, отрицательно сказываются на эффективности системы ППД вследствие различий в приемистости нагнетательных скважин по ряду низ-

копродуктивных пластов, что, в свою очередь, влияет на равномерность выработки запасов.

Во время остановки платформы на планово-предупредительные работы из промысловых емкостей было извлечено более 70 т песка. Одной из причин мог быть песок, выносимый из скважин при их выводе на режим после ППР. В результате была разработана программа ввода скважин после простоя, значительно увеличено время открытия штуцера до заданных величин. Последующая отработка скважин через тестовый сепаратор и его исследования с помощью термографии показали, что песок при таком открытии скважины не выносится. Данная методика позволила значительно сократить вынос песка и избежать дальнейших проблем с наземным оборудованием. Однако вышеописанный метод не исключает вынос незначительных объемов песка в будущем и не дает возможности полностью раскрыть потенциал скважин.

### Литература

1. Брод И. О. Материалы по методологии поисков и разведок нефти и газа. – Л. : Госгеолразведиздат, 1932. – 31 с.
2. Запивалов Н. П. Нефтегазоносность акваторий мира. – 2009. – 150 с.
3. Павлинова Н.В., Шахова А. Ю. Роль грязевого вулканизма при формировании нефтегазовых залежей Южно-Пильтунского участка Пильтун-Астохского месторождения на шельфе о-ва Сахалин // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. – 2016.
4. Проблемы геологии и освоения недр: труды XXVII Международного молодежного научного симпозиума имени академика М. А. Усова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2023. – 263 с.
5. Куликов Н. К. и др. Цитологическое и петрофизическое изучение нефтегазоносных отложений о. Сахалин, Охотского моря, Татарского пролива. – СахалинНИПИморнефть, 1990.
6. Якубов А. А. Грязевой вулканизм Советского Союза и его связь с нефтегазоносностью. – Баку : Элм, 1980.

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛОГОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОНИМАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А. Н. Корбутяк, Н. С. Фролова

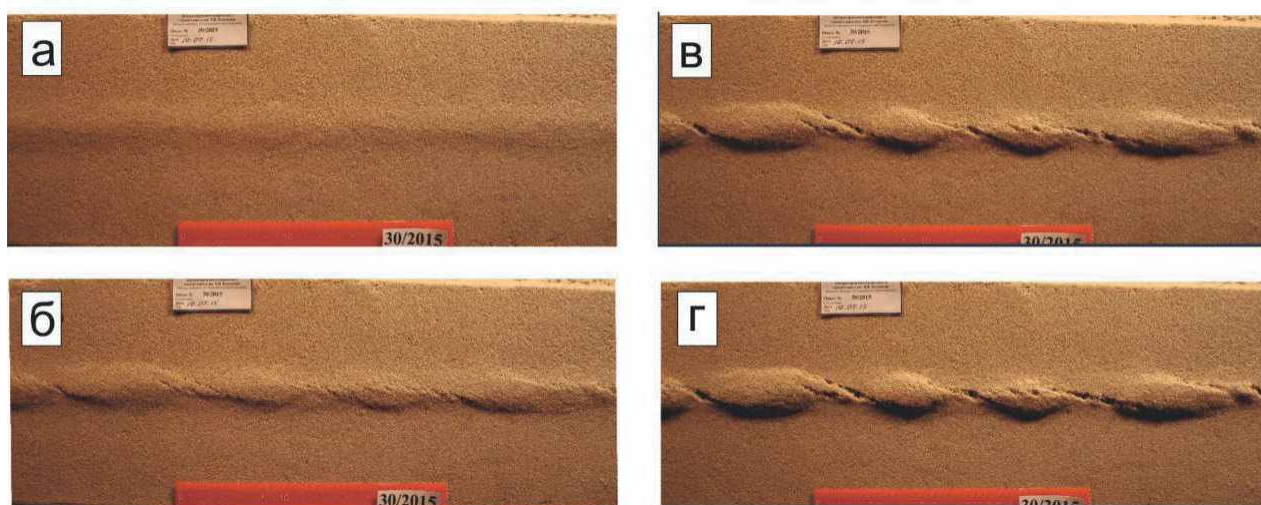
*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
Москва, korbutyakan@mail.ru*

Выяснение механизмов образования деформационных структур в зонах сдвига является весьма актуальной задачей, поскольку в таких зонах встречается большое разнообразие углеводородных ловушек. Однако, несмотря на длительную историю изучения, до сих пор остаются некоторые нерешенные вопросы. К тому же постоянно происходит накопление новых данных в связи с развитием методов сейсморазведки. Метод тектонофизического моделирования позволяет дать ответ на многие вопросы.

В настоящее время на севере Западной Сибири открыто достаточно большое количество нефтегазоносных валообразных поднятий. Такие структуры обычно имеют пологую линейную форму и протягиваются на несколько десятков километров. В последнее время появились работы, в которых предполагается, что валы связаны со сдвиговой тектоникой [3], однако конкретный механизм либо не рассматривается, либо предполагается, что это «складки присдвигового волочения». Вопрос о том, почему это мнение является ошибочным, более подробно рассмотрен в работе [4].

В Лаборатории тектонофизики и геотектоники МГУ им. М. В. Ломоносова была проведена большая серия экспериментов по воспроизведению обстановки простого сдвига. Перед нами была задача экспериментально изучить причины, эволюцию, морфологию валов и влияние на них различных факторов. В качестве эквивалентного материала, имитирующего осадочный чехол, был выбран песок, т. к. структуры в таких моделях имеют большее сходство с природными структурами осадочного чехла, сформировавшимися над сдвиговыми разломами фундамента платформ. Аналогом именно такой обстановки деформации являются наши эксперименты.

«Фундаментом» в опытах служили две доски длиной 100 см, смещающиеся друг относительно друга в специальном приборе. «Чехлом», как уже говорилось, служил песок различной зернистости, сухой и влажный, а также с примесью солидола. Мощность «чехла» составляла 3 или 4,5 см. Правомерность использования песка для моделирования верхних частей земной коры показана многими зарубежными исследователями [5].



**Рис. 1. Развитие валообразных поднятий в эксперименте.  
Простой неоднородный правый сдвиг. Материал «чехла» – влажный песок, фракция 0,5–0,8 мм**

Во всех экспериментах были получены валы. При небольшой амплитуде сдвига формировался вал по всей длине «разлома в фундаменте» (рис. 1, а), при этом в сухом песке он был хорошо выражен, а во влажном слабо заметен. При увеличении амплитуды сдвигания постепенно начинали формироваться сколы Риделя, а единый вал распадался на ряд более мелких асимметричных вытянутых эшелонированных поднятий, расположенных между этими сколами (рис. 1, б). Постепенно поднятия увеличивали амплитуду и все больше разобцались (рис. 1, в). В конце концов, их рост прекращался, но они продолжали отодвигаться друг от друга. Величина поднятий не зависела от мощности «чехла».

Анализ экспериментов показал, что над сдвигами в «фундаменте» валообразные поднятия в гранулированных материалах «чехла» формируются всегда. Они могут иметь разную форму, степень вытянутости, конфигурацию, размеры и амплитуду, располагаясь эшелонированно, а иногда и четковидно (рис. 1, г). Причиной формирования валов является (на первом этапе) дилатансия, а затем сжатие с подъемом вверх материала между смежными концами сколов Риделя. Иными словами, эти структуры аналогичны известным локальным поднятиям типа push-up (pop-up), которые формируются между двумя разломами сдвигового типа в обстановке транспрессии. Разница заключается в том, что в нашем случае транспрессионное поле напряжений является полем второго ранга и регулярно повторяется вдоль единого разлома.

Результаты экспериментов доказывают, что валообразные поднятия могут образовываться в обстановке простого сдвига, без дополнительного сжатия. При этом в моделях валы могут иметь различную морфологию, а также их выраженность в рельефе с глубиной уменьшается. Это же мы видим на сейсмических разрезах через Еты-Пуровскую систему валов [3].

Также известно, что в фундаменте Западно-Сибирской плиты выявлены крупные грабен-рифты, образовавшиеся в обстановке растяжения в пермь-триасовое время. К бортам этих грабен-рифтов приурочены разломы со сдвиговой кинематикой, активизировавшиеся в новейшее время [3]. Мы провели еще одну серию экспериментов по воспроизведению 2-этапной деформации: в начале образование рифта в обстановке растяжения, а затем формирование сдвигового структурного парагенеза, включающего валообразные поднятия, в обстановке горизонтального сдвига.

В качестве эквивалентного материала в обстановке растяжения была использована каолиновая глина и глина смешанного состава (зеленая кембрийская глина из Ленинградской области) влажностью 30–40 %. Глинистая паста укладывалась на 2 тонкие металлические пластины, которые впоследствии отодвигались друг от друга. При раздвижении формировались асимметричные «рифтовые впадины» с проседанием в центральной части и системами литрических сбросов по краям (рис. 2).

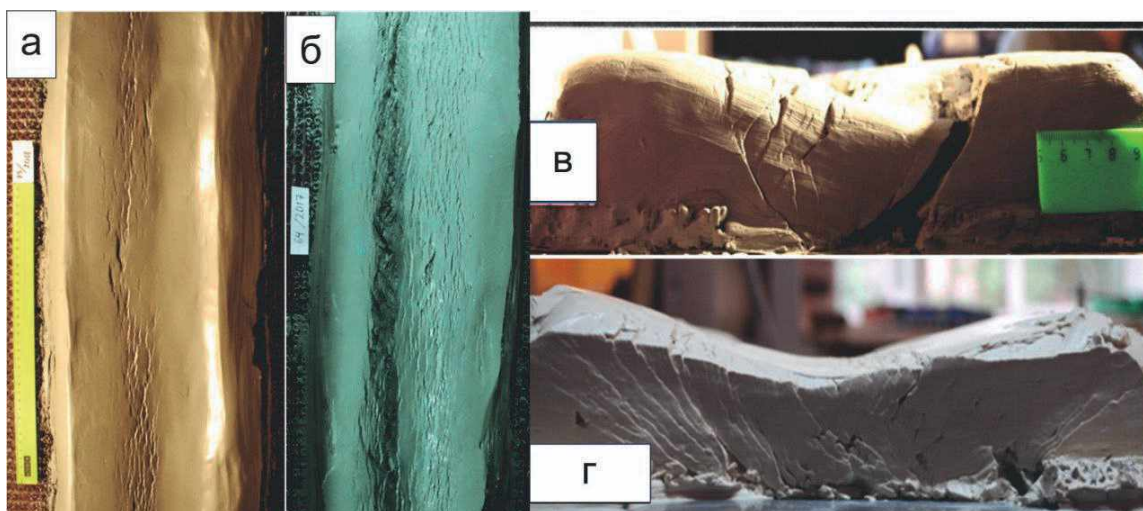


Рис. 2. Результаты моделирования обстановки растяжения на модели из глины (а, б – вид сверху, в, г – вид сбоку)

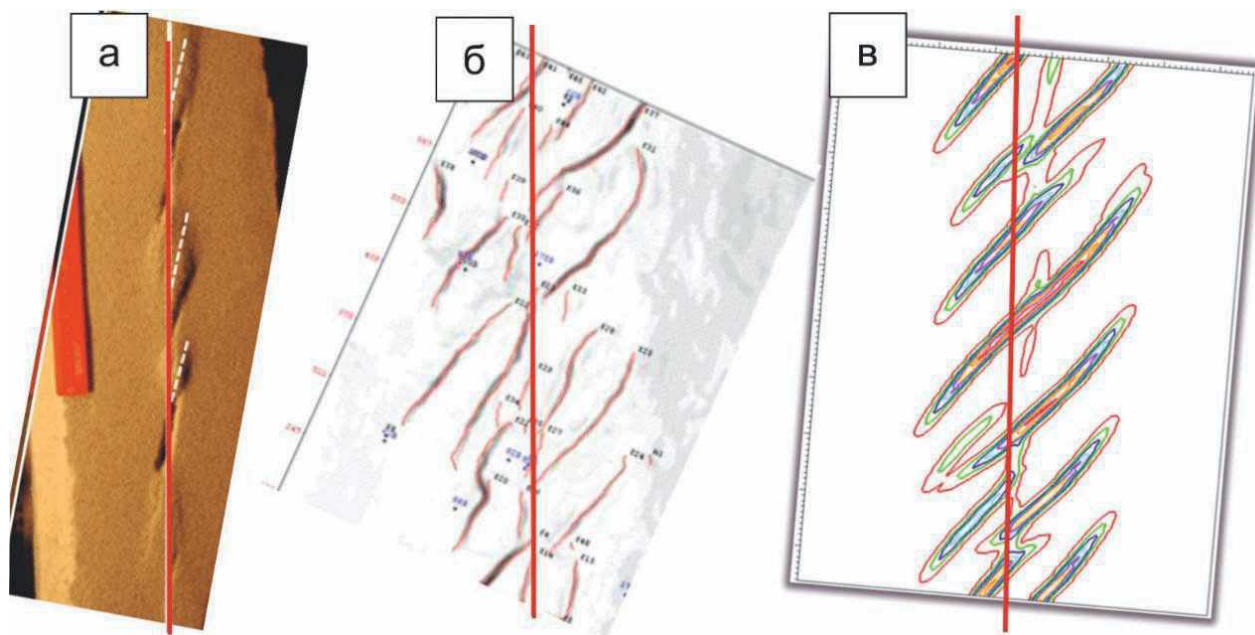


Затем на образовавшиеся рифты был наложен «осадочный чехол» из песка и воспроизведена обстановка простого сдвига. В результате на поверхности образцов возник классический структурный парагенез зон сдвига: образовался единый вал, который постепенно распался на несколько валообразных поднятий, разделенных сколами Риделя. Правда, и валообразные поднятия, и сами сколы Риделя представлены не так отчетливо.

Моделирование показало возможность формирования валообразных поднятий в обстановке сдвига над прежде появившимся рифтом. Природным аналогом этих структур могут служить крупные эшелонированные валы (например, Варьеганский, Етыпуровский). Они сформировались в позднем кайнозое при активизации крупных разломов, входящих в систему Колтогорско-Уренгойского грабен-рифта.

Эти 2 серии экспериментов позволили детально проследить весь процесс и условия образования сдвигового структурного парагенеза, в частности образования валообразных поднятий в обстановке простого сдвига, которые в свою очередь часто являются нефтегазоносными.

Но существует и недостаток сравнения результатов аналогового физического моделирования и природных объектов. Так, например, выделяемые на структурных поверхностях севера Западной Сибири разрывы, являющиеся структурами более мелкого ранга, чем вышеописанные, интерпретируются как сколы Риделя [3], но располагаются под большим углом к направлению сдвига (угол до  $45\text{--}50^\circ$ ). Из-за такого большого значения угла данные разрывы в одной из работ принимаются за трещины отрыва. В аналоговых моделях этот угол составляет около  $15^\circ$  [2]. Причина этого несоответствия в том, что при физическом моделировании невозможно учесть нагрузку осадочного чехла, которая и влияет на угол между разрывом и направлением сдвига. В математических же моделях этот параметр заложить возможно. Так [1] показали, что при учетывании нагрузки осадочного чехла в зонах деструкции, соответствующих, по ориентировке, сколам Риделя, угол наклона к оси сдвига будет как раз около  $40\text{--}45^\circ$ . Все это является достаточно важной информацией при интерпретации сейсмических данных потенциально нефтегазоносных структур (рис. 3).



**Рис. 3. Сравнение углов наклона сколов Риделя к проекции разлома в фундаменте:**

*а* – в аналоговой модели при двухфазной деформации, *б* – на фрагменте структурной поверхности Етыпуровского вала [3], *в* – в математической модели [1]

В настоящее время совместно с ООО «ИГТ» начаты работы по применению метода X-лучевой компьютерной томографии к аналоговым моделям из влажной глины. Появились первые обнадеживающие результаты. Изучение деформационной структуры в объеме имеет как теоретическое, так и практическое значение.

Аналоговое физическое моделирование имеет важное значение для правильного понимания и интерпретации природных структур, прогнозирования структурных ловушек скоплений углеводородов.

### Литература

1. Бакеев Р. А., Стефанов Ю. П. Влияние веса осадочных пород на строение сдвиговых разломных зон // Материалы XVI Всероссийского семинара, посвященного 80-летию со дня рождения акад. С. В. Гольдина. Геодинамика «Геомеханика и геофизика». – Новосибирск, 2016. – С. 26.
2. Стоянов С. С. Механизм формирования разрывных зон. – М. : Недра, 1977. – 144 с.
3. Тимурзиев А. И. Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты (в связи с нефтегазоносностью): докт. дисс. – М., 2009. – 40 с.
4. Фролова Н. С., Корбутяк А. Н., Гуал Перес Х. Валы в чехле молодых платформ: тектонофизический аспект // Сборник Юбилейной научной конференции «Ломоносовские чтения - 2015», секция Геология. – М., 2015.
5. Dooley T. P., Schreurs G. Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: A review and new experimental results // Tectonophysics. – 2012. – Vol. 574. – P. 1–71.

## ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА УГЛЕВОДОРОДОВ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

В. В. Кузнецов

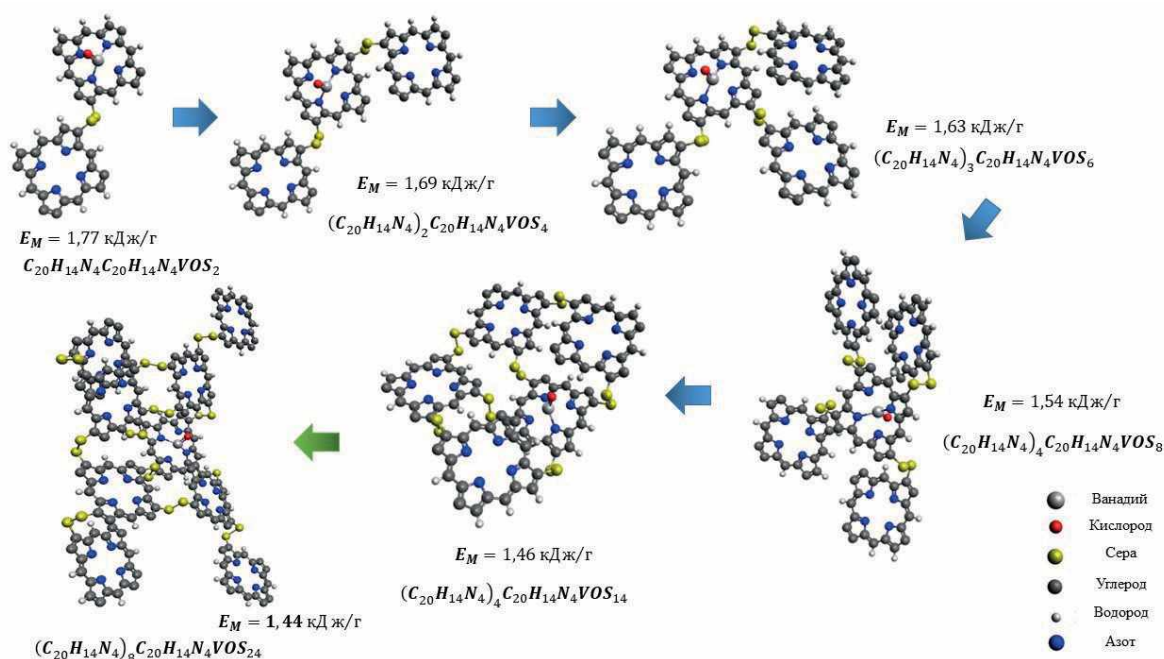
*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, kuznetsov@vvalen.ru*

Увеличение мирового спроса на энергоносители требует вовлечения в переработку месторождений углеводородов более глубоких горизонтов и новых решений по их обнаружению и разработке. Каждому месторождению свойственны уникальные химический и фракционный составы, обусловленные процессами их формирования, которые можно использовать как маркеры при геологической разведке. К таким особенностям можно отнести значительное присутствие в самой нефти и ее породах-коллекторах различных неорганических соединений переходных металлов, что может являться косвенным свидетельством участия мантийных флюидов в процессе трансформации углеводородов.

Целью данной работы являлось установление возможных микроэлементных маркеров процессов глубинного нефтегенеза на основании результатов молекулярного и термодинамического моделирования, а также исследований элементного состава проб пород-коллекторов и нефти Тимано-Печорской провинции.

Для моделирования возможных процессов генезиса нефти в работе был использован модуль расчета свободной энергии Гиббса программы HSC Chemistry 6.0. Оценка устойчивости молекулярной структуры соединений-носителей переходных металлов производилась с применением программного пакета Avogadro. Анализ химического состава проб вмещающих пород, выделенной из них магнитной фракции, а также полученной тяжелой фракции нефти производили с применением аппарата для рентгено-флуоресцентного анализа EDX – 7000. Выделение тяжелой фракции нефти производили с применением методов SARA-анализа.

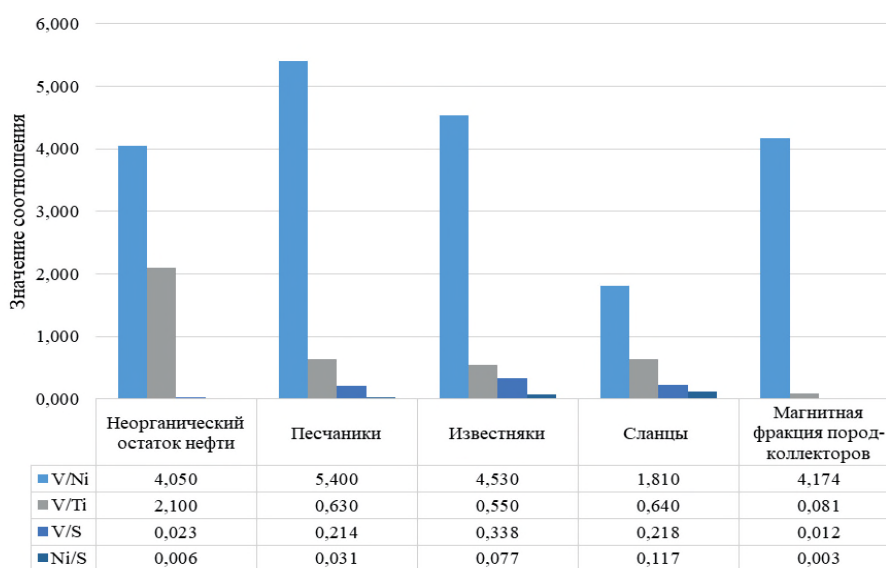
Основными полимерными структурами тяжелой фракции нефтей являются различные конфигурации керогена. Преимущественно гетероциклические соединения азота в них представлены различными формами пиррольных соединений. Таким образом, после процессов трансформации парафинов в ненасыщенные углеводороды и азот- и серосодержащие соединения, изменяющиеся условия, вероятно, должны способствовать формированию комплексных соединений на основе порфинов.



**Рис. 1. Потенциальные структуры полимерных молекул-носителей ванадия в тяжелой фракции нефти и их переходы в термодинамически более выгодные состояния**

Для прогноза термодинамической возможности существования полимерных соединений использован критерий  $E_M$ , характеризующий отношение энергии образования молекулы ( $U$ ) к ее молекулярной массе ( $M$ ). Переход из одной конфигурации в другую наиболее вероятен при уменьшении значения данного критерия. Результаты выполненного моделирования потенциальных соединений-носителей ванадия на основе порфинов ванадила за счет образования сульфидных связей представлены на рис. 1.

По результатам молекулярного моделирования сделано предположение, что формирование сульфидных мостов, возникающих из-за контакта углеводородов с мантийными газами, повышает устойчивость полимерных структур. Результаты анализа соотношений содержаний переходных металлов и серы в исследованных пробах нефти и пород-коллекторов представлены на рис. 2.



**Рис. 2. Значения соотношений содержаний ванадия к содержаниям никеля и к содержаниям титана в пробах нефти и пород-коллекторов**

На основании анализа данных (рис. 2) установлено, что наибольшее значение V/Ni соответствует пробам песчаников, а наибольшее значение V/Ti соответствует неорганическому остатку нефти. Увеличение содержания ванадия, никеля и титана в неорганическом остатке нефти по сравнению с образцами пород-коллекторов, вероятно, связано с двумя процессами:

- взаимодействие соединений нефтей с носителями переходных металлов в породах-коллекторах и образование металлопорфиринов;
- вымывание тонких частиц носителей переходных металлов в нефтяную суспензию.

Можно предположить, что снижение соотношения V/Ni, вероятно, обусловлено тем, что органические вещественные компоненты нефти, которые способны образовать комплексные соединения с ванадием и никелем, более склонны к образованию соединений с ванадием.

*Работа выполнена в рамках Гос. задания «Исследование термодинамических процессов Земли с позиции генезиса углеводородов на больших глубинах», шифр FSRW-2024-0008. Работа выполнена под руководством члена-корреспондента РАН, д-р техн. наук, проф. Александровой Татьяны Николаевны.*

### Литература

1. Пуланова С. А. Микроэлементный состав каустобиолитов и процессы нефтегенерации – от гипотезы Д. И. Менделеева до наших дней // Георесурсы. – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 45–55.
2. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. – СПб.: Наука, 2000. – 479 с.
3. Aleksandrova T., Nikolaeva N., Kuznetsov V. Thermodynamic and Experimental Substantiation of the Possibility of Formation and Extraction of Organometallic Compounds as Indicators of Deep Naphthogenesis // Energies. – 2023. – Vol. 16, no. 9. – P. 38–62.
4. Ilyin M. D., Petrov D. N., Karmanskiy D. A. et al. Physical simulation aspects of structural changes in rock samples under thermobaric conditions at great depths // Mining Science and Technology (Russia). – 2023. – Vol. 8, no. 4. – P. 290–302.
5. Prischepa O. M. et al. Theoretical and methodological approaches to identifying deep accumulations of oil and gas in oil and gas basins of the Russian Federation // Frontiers in Earth Science. – 2023. – Vol. 11. – P. 119–2051.

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ ЛИТИЯ И ДРУГИХ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПОПУТНЫХ ВОДАХ, ИЗВЛЕЧЕНИЕ КОТОРЫХ СВЯЗАНО С РАЗРАБОТКОЙ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ (УВС)

А. В. Логинова, М. Г. Полуянов

*ФБУ «Государственная комиссия по запасам подземных ископаемых»,  
Москва, loginova@gkz-rf.ru; poluyanov@gkz-rf.ru*

Промышленные подземные воды являются важнейшим стратегическим сырьем для извлечения полезных компонентов (йод, бром, бор, стронций, литий и др.) [1]. Извлечение полезных компонентов из попутных вод, добываемых при разработке месторождений УВС, экономически целесообразно, поскольку подъем воды осуществляется скважинами в процессе добычи углеводородного сырья, а капитальные вложения требуются лишь на этапе переработки. В настоящее время запасы некоторых редких элементов существенно сократились, а потребность в них резко увеличилась за счет расширения их использования в новых отраслях техники и технологии. Актуальной стала проблема поисков и вовлечения в промышленную разработку новых видов минерального сырья, в качестве одного из которых следует рассматривать подземные промышленные воды глубоких горизонтов крупных артезианских бассейнов платформ, предгорных и межгорных впадин, добыча которых связана с разработкой месторождений УВС [2]. Рост добычи нефти приводит к неизбежному увеличению объемов попутно добываемых вод, объем которых на поздней стадии разработки месторождений УВС может в десятки раз превышать объем добываемой нефти [3]. Попутные воды могут содержать повышенные концентрации йода, брома, бора, соединений магния, калия, лития, рубидия, стронция и других полезных компонентов.

Месторождения подземных промышленных вод характеризуются рядом специфических особенностей, определяющих в свою очередь методы их изучения и оценки, которые осуществляются на широкой региональной гидрогеологической основе [4]. Эти воды залегают на значительных глубинах (1000–5000 м) и характеризуются, как правило, высокими минерализацией, температурой и газонасыщенностью. Распространение подземных вод с высокими концентрациями полезных компонентов само по себе еще не определяет наличия месторождений промышленных вод и их эксплуатационных запасов. Перспективы практического использования этих вод определяются экономикой их добычи и получения полезной продукции. В связи с этим геолого-экономическое обоснование возможности и целесообразности освоения гидроминеральных сырьевых ресурсов является ведущим при оценке запасов месторождений и перспектив их практического освоения на всех стадиях геологоразведочных работ [7].

Имеется ряд особенностей, отличающих геолого-экономическую оценку месторождений подземных промышленных вод от аналогичной оценки рудных месторождений. Эксплуатационные запасы измеряются не единицами массы, а дебитом водозаборов, гарантированным на определенный срок (обычно 10 000 сут); одновременно с запасами промышленной воды фиксируются производственная мощность (по воде) перерабатывающего предприятия и расчетный срок его работы [8]. К запасам подземных вод (в отличие от запасов твердых полезных ископаемых) неприменимы такие понятия, как оконтуривание, блок, прирезка и т. д. В основе подсчета запасов промышленных подземных вод лежат не геометрические построения, а прогноз изменения во времени гидродинамических и гидрохимических условий эксплуатации месторождений [9]. Это определяет содержание кондиционных требований к месторождениям и условиям их разработки, а также суть геолого-экономической оценки месторождений подземных промышленных вод.

Геолого-экономическая оценка требует сопоставления и выбора оптимальных показателей разработки месторождения промышленных подземных вод [4]. К числу таких показателей следует относить:

- минимальные промышленные концентрации полезных компонентов;
- максимальную глубину залегания промышленной водоносной зоны;
- минимальный дебит одной эксплуатационной скважины;
- максимальное понижение динамических уровней в скважинах в период эксплуатации водозабора;
- суммарный дебит водозабора;
- площадь (ее размеры) расположения эксплуатационных скважин;
- условия сброса отработанных предприятием вод;
- качество и температуру гидроминерального сырья;
- наличие вредных компонентов и примесей;
- наличие компонентов, которые целесообразно извлекать попутно с основным производством.

Для достижения наибольшей эффективности в изучении участков недр с целью добычи полезных ископаемых, не относящихся к углеводородному сырью, из подземных вод, извлечение которых связано с разработкой месторождений углеводородного сырья, включая добычу полезных ископаемых из попутных вод и вод, используемых для собственных производственных и технологических нужд, необходимо соблюдать стадийность в проведении геологоразведочных работ, осуществлять рациональное комплексирование методов и технологий и технических средств, своевременно проводить постадийную геолого-экономическую оценку возможных вариантов решения конкретных задач [12].

Целесообразность использования промышленных вод для извлечения из них полезных компонентов устанавливается на основе технико-экономического обоснования (ТЭО) кондиций для подсчета запасов этих вод, представляющих собой совокупность требований к качеству и количеству промышленных вод, горно-геологическим, техническим и иным условиям их разработки, обосновывающих наиболее полное комплексное и безопасное использование недр на рациональной экономической основе с учетом экологических последствий эксплуатации месторождения [13].

Для обоснования вовлечения в освоение участков недр с целью добычи полезных ископаемых, не относящихся к углеводородному сырью, из подземных вод, извлечение которых связано с разработкой месторождений УВС, включая добычу полезных ископаемых из попутных вод и вод, используемых для собственных производственных и технологических нужд, устанавливаются следующие стадии геологоразведочных работ: поисковая, оценочная, разведочная и эксплуатационная. Каждая стадия характеризуется своим целевым назначением, задачами, объемом и методикой работ. С учетом степени изученности района, а также потребностей в гидроминеральном сырье в отдельных случаях стадии могут исключаться или объединяться.

Подсчет запасов и обоснование кондиций промышленных вод на участках недр, предоставленных в пользование для разведки и добычи углеводородного сырья или по совмещенной лицензии для геологического изучения, разведки и добычи углеводородного сырья, может осуществляться на всех стадиях геологического изучения, поисков, оценки и разведки, освоения месторождений углеводородного сырья, в соответствии с Классификацией запасов и прогнозных ресурсов теплоэнергетических и промышленных подземных вод [5].

Началу работ независимо от степени изученности предшествует предварительная геолого-экономическая оценка месторождения промышленных вод, основанная на сборе, обобщении и целенаправленном анализе всех имеющихся по району работ геологических материалов, в первую очередь, результатов наземной геофизики, бурения, ГИС и опробования скважин различного назначения, обосновании целесообразности извлечения полезных компонентов из подземных вод, попутных вод и вод, используемых для собственных и технологических нужд, результатах математического гидродинамического моделирования прогноза сохранения качества подземных вод, достаточных для разработки проекта временных кондиций, включая проектные решения о размещении использованных промышленных вод.

В результате проведения работ по геологическому изучению, включая поиски и оценку месторождений промышленных вод на участках недр, предоставленных в пользование для разведки и добычи углеводородного сырья, или по совмещенной лицензии для геологического изучения, разведки и добычи углеводородного сырья осуществляется подсчет запасов вновь выявленных и оцененных месторождений промышленных вод в соответствии с положениями Классификации запасов и прогнозных ресурсов теплоэнергетических и промышленных подземных вод и обосновывается возможность проведения опытно-промышленной разработки месторождения.

## Литература

1. Временные рекомендации по обоснованию запасов попутных вод нефтяных месторождений в качестве минерального сырья / Сост.: М. В. Ефремочкин, Р. И. Иовчев, А. А. Бездетный. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1987.
2. Временные требования к изучению и подсчету запасов попутных вод нефтяных и газонефтяных месторождений как источника минерального сырья. – М. : ГКЗ, 1992.
3. Желтов Ю. П. Разработка нефтяных месторождений. – М. : Недра, 1986.
4. Изыскания и оценка запасов промышленных вод: Методическое пособие / С. С. Бондаренко, Л. В. Боровский, Н. В. Ефремочкин, Н. А. Плотников, В. П. Стрепетов. – М. : Недра, 1971.
5. Классификация запасов и прогнозных ресурсов теплоэнергетических и промышленных подземных вод (утв. Приказом Минприроды РФ от 01.09.2011 № 718).
6. Классификация запасов и ресурсов нефти и горючих газов (утв. Приказом Минприроды России от 01.11.2013 № 477).
7. Алексеев С. В., Алексеева Л. П., Вахромеев А. Г. Литиеносные подземные воды Сибирской платформы // Материалы Всероссийского научно-практического совещания с международным участием. Новосибирск. 24–26 мая 2011 г. – Изд-во СО РАН, 2011. – С. 7–14.
8. Анциферов А. С. Ресурсы уникальных хлоридных кальциевых рассолов Сибирской платформы и проблемы их промышленного освоения // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 8–9. – С. 30–32.
9. Вахромеев А. Г. Закономерности формирования и концепция освоения промышленных рассолов (на примере юга Сибирской платформы) : Автореф. докт. дисс. – Иркутск, 2009. – 36 с.
10. Вахромеев А. Г. Месторождения промышленных поликомпонентных рассолов глубоких горизонтов гидроминеральной провинции Сибирской платформы // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 9 (92). – С. 73–78.

11. Промышленные рассолы Сибирской платформы: гидрогеология, бурение и добыча, переработка, утилизация / С. В. Алексеев, А. Г. Вахромеев, Н. П. Коцупало, А. Д. Рябцев. – Иркутск : Географ, 2014. – 162 с.

12. *Табаксблат Л. С.* Особенности миграции микроэлементов в рассолах глубоких комплексов Предуральяского прогиба // Гидрогеохимия осадочных бассейнов: Труды Российской научной конференции. – Томск : Изд-во НТЛ, 2007. – С. 148.

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПЛАСТАХ ГОРНЫХ ПОРОД. ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

А. А. Халин

*ФБУ «Государственная комиссия по запасам подземных ископаемых»,  
Москва, halin@gkz-rf.ru*

В соответствии с фактом увеличения температуры Земли и изменения климата, который может повлечь за собой сильное преобразование земной поверхности и окажет влияние на население земли, Европейский Союз и «Большая восьмерка» поставили перед собой задачу сократить выбросы парниковых газов как минимум на 80 % по сравнению с базовым уровнем 1990 г. к 2050 г. Предполагается единая технология CCUS (улавливание, использование и хранение углерода), в которой рассматривается, в первую очередь, технология хранения CO<sub>2</sub> в геологических объектах [1; 7].

В Российской Федерации в контексте выполнения обязательств по Парижскому соглашению был принят комплекс законодательных актов, направленных на регулирование выбросов парниковых газов. В частности, Указ Президента РФ от 04.11.2020 № 666 требует от Правительства РФ разработки Стратегии социально-экономического развития страны с низким уровнем выбросов до 2050 г. [2]. Данный шаг свидетельствует о глубокой необходимости адаптации национальной экономики к новым экологическим требованиям и кросс-секторальным вызовам для реализации устойчивого развития нашего государства.

Преобразования, связанные с новыми нормативно-правовыми требованиями, особенно сильно вносят корректировки для нефтегазового сектора Российской Федерации, который является одним из стратегических секторов экономики нашего государства и именно нефтегазовые компании в силах решить вопрос по декарбонизации и уменьшению выбросов парниковых газов в атмосферу, являясь важной частью системы CCUS и способствуя размещению углекислого газа на пригодных для этого территориях и геологических формациях. В целом же над решением данной задачи и достижением целей декарбонизации задействованы нефтегазовые компании по всему миру, внедряя программу CCUS в систему производственной деятельности, что способствует расширению базы данных и практик, позволяющих эффективнее вводить CCUS именно в мировой опыт, а также собственные исследования позволят решить эту задачу на территории Российской Федерации [3].

Одним из значимых фактов распределения сил в сторону нефтегазовых компаний является наличие необходимых технологий и инфраструктуры для реализации проектов по улавливанию и хранению CO<sub>2</sub>, что делает их важнейшим участником в реализации системы CCUS [8].

Необходимо отметить, что успешное внедрение проектов CCUS напрямую связано с технологической зрелостью и инновационными возможностями компаний. Темпы принятия решений по декарбонизации зависят как от масштабов и сложности энергетических систем, так и от способности компаний к быстрому внедрению новых технологий и стратегическому планированию [4]. Важным элементом является гибкость управления инвестиционными потоками, которая может ускорить или замедлить процесс перехода к углеродной нейтральности.

Именно нефтяные компании способны разработать один из наиболее эффективных методов достижения углеродной нейтральности, а именно внедрение проектов подземного размещения CO<sub>2</sub>.

В соответствии с разработкой методических рекомендаций проводится полномасштабная оценка ресурсов хранения CO<sub>2</sub> на лицензионных участках в регионах присутствия различных компаний на территории Российской Федерации: от Калининградской области до Камчатского края.

Существует два основных направления проектов по снижению углеродного следа: CCS (улавливание и хранение углекислого газа) и CCS-EOR (улавливание и хранение углекислого газа с улучшением извлечения нефти). В обоих случаях требуется разработка нормативно-методических документов для регулирования размещения CO<sub>2</sub> в подземных хранилищах и использования его для повышения коэффициента извлечения нефти [5; 6].

С целью их внедрения необходимо разработать ряд нормативно-методических документов.

#### 1. Размещение в подземных хранилищах

- Постановление Правительства РФ № 2127 (в части видов проектной документации);
- Приказ Минприроды России № 464 «Требования к структуре и оформлению проектной документации...» (в части материалов по подземным хранилищам нефти и CO<sub>2</sub>);
- Приказ Минприроды России № 586 «Требования к составу и правилам оформления представляемых на Государственную экспертизу материалов...» (в части материалов по подземным хранилищам нефти и CO<sub>2</sub>);
- Создание классификации уровней воздействия на окружающую среду.

#### 2. Закачка в пласт с целью увеличения КИН:

- внесение изменений в Правила разработки;
- правила проектирования по УВС.

Разработка новых документов:

- Методические рекомендации по обоснованию выбора участка недр для строительства и эксплуатации подземных сооружений в соленых отложениях;
- Правила строительства и эксплуатации подземных сооружений;
- Правил проектирования строительства и эксплуатации подземных сооружений;
- Методические рекомендации по закачке CO<sub>2</sub> в качестве МУН.

Будущее этих технологий оказывает решающее влияние на выбор стратегий по сокращению углеродного следа и обеспечению устойчивого развития энергетической системы нашей страны в условиях глобального перехода к низкоуглеродной экономике. Оценка наиболее перспективных решений для российской нефтегазовой отрасли является критически важной задачей на фоне усиления международных обязательств по борьбе с изменением климата.

Так, например, ФБУ «ГКЗ» производит разработку Методических рекомендаций по обоснованию выбора участков недр для строительства и эксплуатации подземных сооружений для целей размещения парниковых газов для внедрения ее на территории нашей страны, с включением мировой правовой практики.

Подводя итог, можно сказать, что основными объектами оценки являются нефтегазаносные комплексы, особенно в пределах лицензионных участков истощенных месторождений нефти и газа. Это связано с тем, что на текущий момент реализация проектов по захвату и хранению парниковых газов на подобных объектах является наиболее эффективной и хорошо изученной. Использование истощенных месторождений для размещения углекислого газа (CO<sub>2</sub>) позволяет решать задачу экологического характера и эффективно использовать существующую инфраструктуру.

Тем не менее, существуют и другие способы хранения и размещения CO<sub>2</sub>, такие как водоносные горизонты, базальтовые отложения, соленые купола и океанические глубины, что расширяет спектр возможных решений для углеродного размещения.

Для России, в частности, важным аспектом является изучение динамики и направлений развития технологий в нефтегазовом секторе. Будущее этих технологий напрямую влияет на выбор подходов к снижению углеродного следа. Определение наиболее перспективных решений для нефтегазовой отрасли играет ключевую роль в решении задач, связанных с углеродным захватом и хранением, а также в обеспечении устойчивого развития энергетического сектора в условиях глобального перехода к низкоуглеродной экономике.



## Литература

1. Европейская Комиссия. Стратегия по климатическим изменениям до 2050 года. – Brussels, 2020. – URL: <https://ec.europa.eu/climate-action/2050-long-term-strategy> (дата обращения: 01.11.2024).
2. Указ Президента Российской Федерации от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов».
3. Мельников А. В., Сорокина И. П. Роль нефтегазовых компаний в реализации климатической повестки в России // Журнал энергетики. – 2022. – Т. 12, № 4. – С. 37–45.
4. Министерство энергетики РФ: Оценка возможностей геологического хранения углекислого газа на территории России. – М., 2021. – URL: <https://minenergo.gov.ru> (дата обращения: 01.11.2024).
5. Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра): Использование истощенных месторождений для хранения CO<sub>2</sub>. – М., 2022. – URL: <https://rosnedra.gov.ru> (дата обращения: 01.11.2024).
6. Сивов В. Н., Иванов Д. А. Перспективы использования альтернативных геологических структур для хранения углекислого газа // Журнал экологии и климата. – 2021. – Т. 8, № 2. – С. 15–22.
7. Global CCS Institute. The Global Status of CCS: 2021. – Global CCS Institute, 2021. – URL: <https://www.globalccsinstitute.com/resources/global-status-of-ccs-2021> (дата обращения: 01.11.2024).
8. International Energy Agency (IEA). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. – IEA, 2021. – URL: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (дата обращения: 01.11.2024).

### НЕФТЕГАЗОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ХАРАКТЕРИСТИКА НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ НЕФТЕНОСНОЙ ОБЛАСТИ (СНО)

А. Н. Меркулова<sup>1</sup>, С. В. Шиманский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»,  
Санкт-Петербургский филиал, Санкт-Петербург, [merkulova@vnigni.ru](mailto:merkulova@vnigni.ru)

<sup>2</sup>Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра),  
Москва, [sergey.shimanskiy@gmail.com](mailto:sergey.shimanskiy@gmail.com)

Балтийская СНО расположена в западной части Северо-Западного федерального округа, в Калининградской области, которая является важным субъектом Российской Федерации. Основными видами УВ сырья по типу флюида являются попутный газ (2 %) и нефть (98 %), которая обладает низкой себестоимостью благодаря своему неглубокому залеганию и расположению на территории с развитой инфраструктурой. При этом качество добываемой на месторождениях нефти является одним из самых высоких в стране, что делает рентабельной добычу из низкодебитных скважин на мелких месторождениях.

Регион характеризуется сложным тектоническим строением, которое определяется наличием крупных разломов и зон трещиноватости пород. Эти особенности способствуют миграции флюидов, что влияет на условия формирования залежей углеводородов. В тектоническом отношении область расположена в крупной краевой структуре субширотного простирания – Юго-Восточной части Балтийской синеклизы.

В платформенном чехле выделяются три нефтегазоносных комплекса (НГК): кембрийский, ордовикский и потенциально нефтегазоносный силурийский, которые тесно связаны между собой. При этом кембрийский и ордовикский НГК содержат залежи традиционного типа, а в силурийском доминирует нетрадиционный резервуар.

Промышленная нефтегазоносность Калининградской области связана с кембрийским НГК, в котором сосредоточены все открытые промышленные в регионе месторождения. Коллекторами являются кварцевые песчаники дейменской свиты. Региональной покрывкой выступает карбонатно-глинистая толща нижнего – нижней части среднего ордовика.

Нефтеносными в ордовикском НГК являются карбонатные образования пиргуского и поркуниского горизонтов верхнего ордовика. Региональной покрывкой для данного комплекса является низкопроницаемая глинисто-мергелистая толща рудданского яруса лландоверийского отдела силура. В Калининградской области в ордовикских отложениях открыта одна нефтяная залежь – Гусевская. Зоны нефтегазонакопления и ловушки в отложениях

ордовика, как правило, пространственно связаны с зонами нефтегазонакопления среднего кембрия. В ордовикском НГК самостоятельным поисковым объектом могут быть ловушки литолого-стратиграфического типа в обломочных известняках пиргу-поркуниского горизонта на востоке области по аналогии с открытыми в Литве верхнеордовикскими залежами нефти. Кроме того, учитывая близкое расположение в разрезе, небольшую мощность и структурный план, ордовикские отложения часто повторяют рельеф кембрийских и нередко представляют собой сателлиты структурных ловушек в кембрийском НГК.

Потенциально нефтеносный силурийский НГК в настоящее время рассматривается в качестве нетрадиционных резервуаров. Коллекторами и одновременно нефтематеринскими породами являются темно-серые мергели и аргиллиты нижней части лландоверийского отдела силура, содержащие в большом количестве граптолиты. Покрышкой являются аргиллиты и мергели верхней части лландоверийского отдела силура. Силурийские залежи в Калининградской области не обнаружены.

Исходя из распределения рассеянного ОВ на территории Калининградской области, в качестве нефтегазоматеринских пород (НГМП) могут выступать толщи нижнего кембрия, верхнего ордовика и нижней части лландоверийского отдела силура [8]. При этом наиболее обогащены органикой именно нижнесилурийские отложения.

Поскольку все известные НГМП залегают в разрезе в непосредственной близости друг от друга (50–200 м), а для рассматриваемого региона характерно блоковое строение продуктивных комплексов с аналогичной по масштабу амплитудой смещения, скопления нефти в каждом НГК, вероятно, являются результатом объединения УВ, поступающих из всех трех НГМП. Не исключается возможность миграции углеводородов с юго-западной части Балтийской синеклизы, где в среднекембрийских–нижнеордовикских отложениях развита формация черных квасцовых сланцев (Alum shale formation). На степень катагенеза ОВ всех материнских толщ на западе территории существенное влияние могли оказать локальные гипабиссальные интрузии основного состава позднепалеозойского возраста, имеющие широкое распространение в пределах морской части Балтийской СНО [3–7]. Кроме того, в восточной части Калининградской области катагенез ни одной из материнских пород не превысил стадии ПК<sub>3</sub>, что соответствует начальному этапу генерации нефти. Коэффициент трансформации наиболее преобразованного ОВ кембрийской НГМП составил не более 7 %, что свидетельствует о низком потенциале таких пород как источников УВ [2]. В среднекембрийском коллекторе залежи углеводородов в западной части региона приурочены к структурным ловушкам, сформировавшимся в герцинский этап тектогенеза. На востоке они являются вторичными, образовавшимися в ловушках киммерийского и альпийского возраста. Учитывая эти факторы, можно сделать вывод, что залежи УВ на востоке территории могли образоваться только за счет миграции флюидов из наиболее преобразованного ОВ западных районов [1].

Таким образом, из трех НГК, выделяемых в настоящее время в регионе, наиболее изучен кембрийский, наименее – силурийский. Последний имеет практически повсеместное распространение в пределах территории и содержит значительные объемы УВ. Учитывая относительно небольшие глубины залегания, силурийский НГК может быть перспективным объектом для разработки в будущем. Кроме того, перспективное направление может иметь доизучение ордовикского карбонатного НГК. Несмотря на то, что добыча нефти на существующих месторождениях затруднена из-за высокой степени их выработанности (91 %), углеводородный потенциал региона еще не исчерпан – степень разведанности ресурсов не превышает 60 %. При этом, учитывая обособленное расположение Калининградской области от остальной территории страны, восполнение сырьевой базы УВ в регионе играет важную роль в экономическом аспекте.

## Литература

1. Меркулова А. Н., Петрова Ю. Э., Шиманский С. В. Характеристика углеводородных систем Балтийской самостоятельной нефтеносной области // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2024. – Т. 19, № 3. – URL: [https://www.ngtr.ru/rub/2024/21\\_2024.html](https://www.ngtr.ru/rub/2024/21_2024.html) (дата обращения: 01.11.2024).
2. Шиманский С. В., Петрова Ю. Э., Васильев Н. Я. и др. Особенности формирования углеводородных систем и приоритетные направления геологоразведочных работ в пределах континентальной части Балтийской самостоятельной нефтегазоносной области на основе бассейнового моделирования // Геология нефти и газа. – 2024. – № 5. – С. 17–32.
3. Харин Г. С., Ерошенко Д. В. Базитовые интрузии и углеводородный потенциал юго-восточной Балтики // Океанология. – 2014. – Т. 54, № 2. – С. 267–281.
4. Kosakowski P. Quantitative Description of the Selected Features of Silurian-Ordovician Shale Gas Petroleum System in Poland // 77<sup>th</sup> EAGE Conference & Exhibition IFEMA. – Madrid. – 2015. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/281899281> (дата обращения: 01.11.2024).
5. Kosakowski P., Zakrzewski A., Waliczek M. Ordovician and Silurian Formations of the Baltic Syncline (NE Poland): An Organic Geochemistry Approach // Lithosphere. – 2022. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/359266567> (дата обращения: 01.11.2024).
6. Motuza G., Šliaupa S., Timmerman M. J. Geochemistry and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age of Early Carboniferous dolerite sills in the southern Baltic Sea // Estonian Journal of Earth Sciences. – 2015. – Vol. 64, no. 3. – P. 233–248. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/276276259> (дата обращения: 01.11.2024).
7. Wicław D., Kotarba M. J., Kowalski A. Origin of oils accumulated in the Middle Cambrian reservoirs of the Polish part of the Baltic region // Geological Quarterly. Warszawa. – 2010. – Vol. 54, no. 2. – P. 205–216. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/275022746> (дата обращения: 01.11.2024).
8. Zdanaviciute O., Lazauskiene J., Khoublidikov A. I. et al. The middle Cambrian succession in the central Baltic basin: geochemistry of oils and sandstone reservoir characteristics // Journal of Petroleum Geology. – 2012. – Vol. 35, no. 3. – P. 237–254.

## ВЫДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ РЕСУРСОВ КАТЕГОРИИ D ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ЛИСТАХ S-47,48 И 49

К. Р. Никонов<sup>1</sup>, М. А. Ткаченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, [neonikon04@yandex.ru](mailto:neonikon04@yandex.ru)

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, [maximtkachenko1@gmail.com](mailto:maximtkachenko1@gmail.com)

Исследуемая территория находится в пределах Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП) Сибирской платформы в Енисей-Хатангской нефтегазоносной области (НГО) и Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции в двух нефтегазоносных областях: Анабаро-Хатангской и Анабарской.

Сейсмическая изученность всей территории низкая. Пробуренные нефтегазопроисковые скважины сосредоточены в южной части изучаемой территории листа S-47. Всего на территории пробурено 11 скважин в Енисей-Хатангской НГО (рисунок).

Пробуренные нефтегазопроисковые скважины сосредоточены в центральной части изучаемой территории листа S-48. Всего на территории пробурено 9 скважин. Из них 4 в Енисей-Хатангской НГО, 2 в Анабаро-Хатангской НГО, 3 в Анабарской НГО.

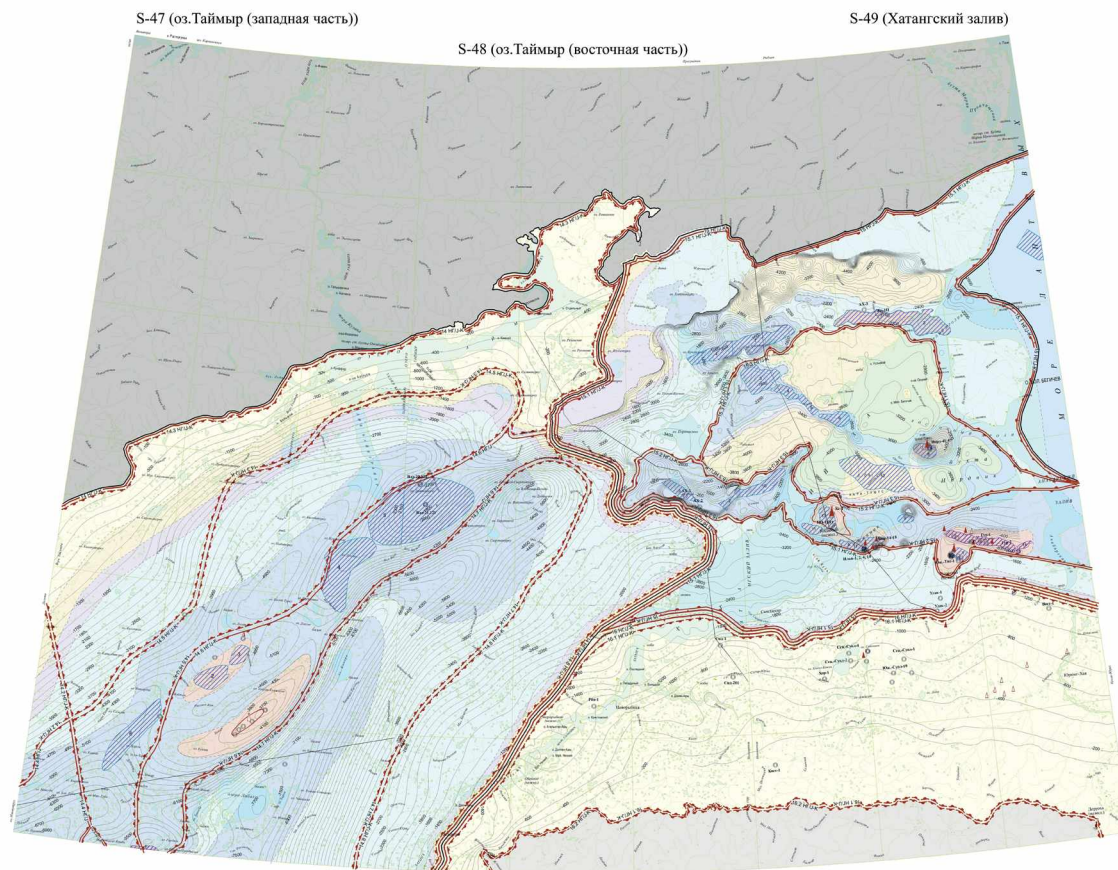
Пробуренные нефтегазопроисковые скважины сосредоточены в центральной части изучаемой территории листа S-49. Всего на территории пробурено 58 скважин. Из них 46 в Анабаро-Хатангской НГО и 12 в Анабарской НГО.

Площадь занимает центральную и восточную части Енисей-Хатангского регионального прогиба, южную часть Таймыро-Североземельской складчатой области, Анабаро-Хатангскую седловину и северную часть Анабарской антеклизы.

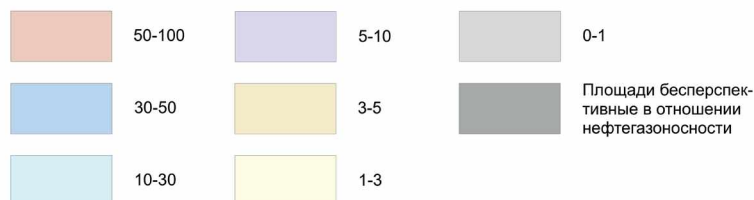
Енисей-Хатангская НГО занимает центральную и южную части листа S-47, а также занимает центральную и западную части листа S-48. В структурном отношении располагается в пределах структур первого порядка Енисей-Хатангского регионального прогиба – Предтаймырского мегапрогиба, Центрально-Таймырского мегапрогиба, Рассохинского мегавала, Боганидско-Жданихинского мегапрогиба, Тонской мегаседловины и Балахинского мегавала.

Основные перспективы нефтегазоносности связаны со среднеюрским терригенным вымским горизонтом, который экранируется региональным флюидоупором – леонтьевской свитой.

КАРТА ПРОГНОЗА НА НЕФТЬ И ГАЗ  
Таймыро-Североземельская серия (S-47, 48, 49)



Территории с различной плотность начальных суммарных геологических ресурсов углеводородов (тыс. тонн н.э./км<sup>2</sup> УВ)



Карта изучаемой территории для прогноза Дл.

Перспективными являются выявленные объекты Кубалахской, Восточно-Кубалахской, Долганской, Владимирской и Западно-Кубалахской площадей и намеченные объекты Курьинской площади Енисей-Хатангской НГО.

Анабаро-Хатангская НГО занимает центральную и восточную части листов S-48,49. В структурном отношении располагается в пределах структур первого порядка Анабаро-Хатангской седловины – Сопочно-Белогорского вала.

Согласно имеющимся представлениям, в разрезе Анабаро-Хатангской НГО, исходя из особенностей ее строения, состава пород, слагающих осадочный чехол, истории развития, выделяют пять основных перспективных нефтегазоносных комплекса (НГК): верхнепротерозойский, ниже-среднепалеозойский, верхнепалеозойский, триасовый и мезозойский. Перспективными являются выявленные объекты Осиповской, Белогорской и Западно-Белогорской площадей.

Анабарская НГО занимает южную часть листов S-48,49. В структурном отношении располагается в пределах структуры первого порядка Анабарской антеклизы – Анабарского мегасвода.

В осадочном чехле Западно-Сибирской НГП в целом выделено 10 НГК – доюрский, нижнеюрский, среднеюрский, верхнеюрский, баженовский, ачимовский, неокомский, апт-альбский, сеноманский и надсеноманский. Продуктивным является среднеюрский комплекс.

В настоящее время в Лено-Тунгусской НГП известны пять продуктивных НГК: рифейский, нижневендский терригенный, верхневендско-нижнекембрийский карбонатный (немакит-далдынский), кембрийский карбонатный, палеозойский.

Подсчет прогнозных локализованных ресурсов УВ выполнен методом аналогии. Расчетные параметры главным образом получены на Балахнинском месторождении для Западно-Сибирской НГП и на Центрально-Ольгинском месторождении для Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (табл. 1, 2).

Таблица 1

**Оценка прогнозных ресурсов категории D<sub>2</sub> на листах S-47 и S-48**

Название	Площадь, км <sup>2</sup>	Нефть, млн т		Свободный газ, млрд м <sup>3</sup>	Всего УВ, млн т. н.э	
		Горизонт			Вымский горизонт	геол.
		геол.	извл.			
<b>Енисей-Хатангская НГО</b>						
Курьинская	22	0,00	0,00	1,04	0,84	
Кубалахская	172	0,00	0,00	146,29	118,49	
Восточно-Кубалахская	82	0,00	0,00	7,77	6,29	
Долганская	629	0,00	0,00	29,78	24,12	
Владимирская	1524	0,00	0,00	72,16	58,45	
Западно-Кубалахская	393	0,00	0,00	18,61	15,07	
<b>Анабаро-Хатангская НГО</b>						
Белогорская	44	7,50	2,00	0,00	2	
Западно-Белогорская	88	15,00	4,00	0,00	4	
Осиповская	178	30,40	8,20	0,00	8,2	
<b>Всего</b>		<b>52,90</b>	<b>14,20</b>	<b>275,65</b>	<b>237,48</b>	

Таблица 2

**Оценка прогнозных ресурсов категории D<sub>2</sub> на листе S-49**

Название	Площадь, км <sup>2</sup>	Нефть, млн т		Всего УВ, млн т. н.э	
		Верхнепермский горизонт		геол.	извл.
		геол.	извл.		
<b>Анабаро-Хатангская НГО</b>					
Южно-Тигянская	47	12,19	3,29	12,19	3,29
Журавлиная	667	172,96	46,70	172,96	46,70
Лабазная	222	37,94	10,24	37,94	10,24
Новолабазная	65	11,11	3,00	11,11	3,00
Портнягинская	53	9,06	2,45	9,06	2,45
Западно-Нордвикская	87	14,87	4,01	14,87	4,01
Осиповская	272	46,49	12,55	46,49	12,55
Нордвикская	80	20,75	5,60	20,75	5,60
Усть-Тигянская	34	5,81	1,57	5,81	1,57
Белогорская	146	24,95	6,74	24,95	6,74
Ильино-Кожевниковская	154	39,93	10,78	39,93	10,78
Цветковско-Бегичевская	559	19,77	5,34	19,77	5,34
Центрально-Ольгинская	94	24,38	6,58	24,38	6,58
Восточно-Гуримисская	20	5,19	1,40	5,19	1,40
Западно-Гуримисская	6	1,56	0,42	1,56	0,42
Чайдахская	168	43,57	11,76	43,57	11,76
Балыктахская	4	0,04	0,01	0,04	0,01
<b>Итого</b>		<b>490,55</b>	<b>132,45</b>	<b>490,55</b>	<b>132,45</b>

Для подсчета извлекаемых ресурсов нефти использована формула:

$$Q_{г} = \left( S_{г} \cdot H_{эф} \cdot m_0 \cdot \beta_{г} \cdot \left( \frac{P_{плг}^a}{P_{ост}} \right) \cdot t \right) \cdot k_{ан} \quad (1)$$

Для подсчета извлекаемых ресурсов газа использована формула:

$$Q_{г} = \left( S_{г} \cdot H_{эф} \cdot m_0 \cdot \beta_{г} \cdot \left( \frac{P_{плг}^a}{P_{ост}} \right) \cdot t \right) \cdot k_{ан} \quad (2)$$

В ходе работы были выделены и оценены на перспективность 26 локальных объектов на нефть и газ с категорией ресурсов Дл находящиеся в пределах Анабаро-Хатангской НГО и Енисей-Хатангской НГО для дальнейших геологоразведочных работ в отечественной нефтяной промышленности (рисунок).

### Литература

1. *Исаев А. В., Девятов В. П., Хилько И. А.* Проведение комплексных полевых работ с целью выявления нефтегазоперспективных участков на Новокубалахской площади // Отчет по Государственному контракту № 55 от 11.08.2017 г. АО «Росгео». – М., 2019.
2. *Ларичев А. И., Хабаров А. Н.* Отчет о результатах работ по договору: «Анализ геологоразведочных работ на Восточно-Таймырском лицензионном участке». – СПб. : ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2019.
3. Решения 5-го Межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозойским отложениям Западно-Сибирской равнины / Под ред. И. И. Нестерова. – Тюмень : ЗапСиб-НИИГНИ, 1991. – 54 с.
4. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 1 000 000, лист S-47-49 – оз. Таймыр. Объяснительная записка / Отв. ред. Ю. Е. Погребницкий. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. – 231 с.
5. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2014 г. Вып. 82 // Газы горючие. Сибирский федеральный округ. Ч. 1. Красноярская область. – М. : 2014.
6. Карта нефтегазоносности РФ и сопредельных стран СНГ масштаба 1 : 5 000 000 / Под ред. К. А. Клещева, А. И. Варламова, 2012.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУЗНЕЦКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА НА ШАХТЕ «ОКТЯБРЬСКАЯ»

Т. С. Рябцева<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск

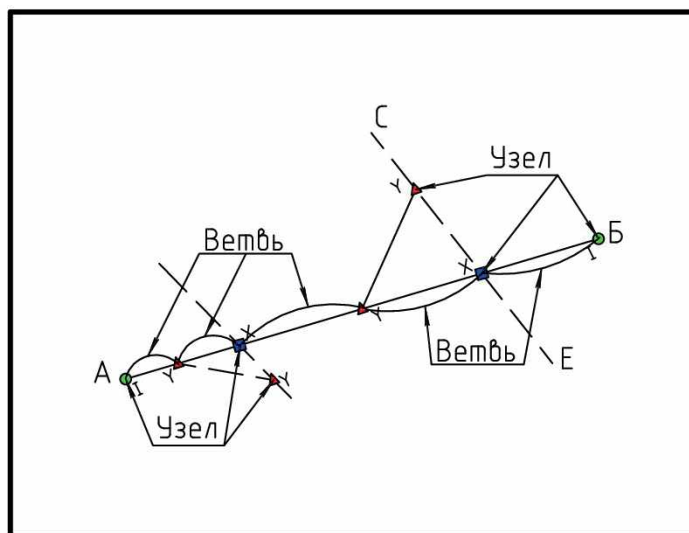
<sup>2</sup>АО «УК «Сила Сибири», г. Полысаево, polis\_13\_88@mail.ru

Одно из первых официальных упоминаний «каменного угля» Кузнецкого угольного бассейна в литературных источниках, относящихся к научным экспедициям, датируется 28 апреля 1721 г. в дневнике Д. Г. Мессершмидта [3]. Регионы, в которых уголь добывается давно, должны искать новые пути развития угольной промышленности или будут ликвидированы как неэффективные угледобывающие мощности. Кузнецкий угольный бассейн в основном располагается на территории Кемеровской области – Кузбасса и является традиционным центром угледобычи [6; 8].

Целью проводимой научно-исследовательской работы является фактическое исследование трещиноватости месторождения Кузнецкого угольного бассейна на шахте «Октябрьская». Для анализа характеристик выявленной трещиноватости будет применяться топологический метод исследования системы ветвей и разделение узловых соединений на I-изолированные, Y-примыкающие, X-пересекающиеся соединения трещин в трехмерном пространстве.

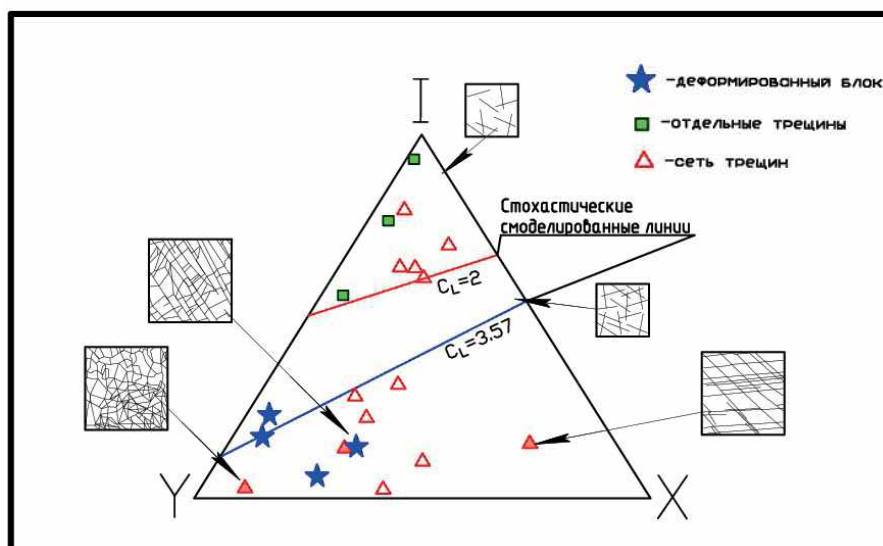
Для достижения поставленной цели необходимо решить основные задачи:

– в подземных выработках шахты «Октябрьская» произвести исследовательские работы и выявить трещиноватость угольного пласта;



**Рис. 1. Сеть трещин в 2-мерном пространстве с обозначением ветвей, узловых соединений (I, Y, X)**

АВ – основная трещина (прямая линия), на которой обозначены ветви, СЕ – трещина, пересекающая основную (пунктирная линия), I – изолированный узел (круг), Y – примыкающий узел (треугольник), X – пересекающийся узел (квадрат)



**Рис. 2. Треугольный график долевого распределения I, Y, X-узловых соединений**

Деформированный блок, отдельные трещины и сеть трещин представляют сети естественных трещин (обозначены звездой, квадратом и треугольником); случайно смоделированные линии (пунктирные линии) показывают среднее количество пересечений на трещину ( $C_L$ );  $C_L = 2$  характеризует предел, выше которого создание связующей модели сети трещин невозможно;  $C_L = 3,57$  значение, моделируемое для перколяции системы случайных линий фиксированной длины, или порог перколяции. Порог перколяции обозначает долю неразорванных связей, при котором возникают связанные модели сети трещин [9]

- определить тип узлового соединения (I, Y, X) [7; 9];
- произвести подсчет узловых соединений трещин (I, Y, X) (рис. 3), составить графики долевого распределения типов узловых соединений (рис. 1–7);
- произвести анализ характеристик трещиноватости с введением методов топологии [9].

Топология – это раздел математики, связанный с выяснением и исследованием в рамках математики идеи непрерывности [1]. Трещина – небольшого размера разрыв в горной породе, относительное перемещение по которому либо невидимо, либо имеет незначительную величину. Трещиноватость – проявляющаяся повсеместно рассеченность горной породы трещинами и, одновременно, совокупность последних (независимо от происхождения) в конкретном массиве горных пород [2].

По исследованиям, проводимым Д. Дж. Сандерсоном в соавторстве с К. В. Никсоном и др., трещина состоит из системы ветвей и I, Y, X-узлов (рис. 1) [9].

Подсчет доли I, Y, X-узлов используется в дальнейшем:

- для характеристики сети трещин по треугольному графику (рис. 2). Треугольный график долевого распределения I, Y, X-узловых соединений) и характеризует меру связности сети трещи;
- для определения количества трещин/ветвей, среднего количества соединений на трещину по уравнениям через подсчет количества узлов, что характеризует интенсивность трещин и также является мерой связности.

Фактическое обследование горной выработки (конвейерного бремсберга 13\*) пласта Байкаимского Кузнецкого угольного бассейна проводилось по пикетам с 1 по 186 (рис. 3). Диаграмма количественного распределения I, Y, X-узлов по пикетам). Шаг пикетажа – 10 м. Конвейерный бремсберг 13\* располагается по падению пласта Байкаимского с северо-востока на юго-запад. Протяженность выработки составляет более 2000 м. Глубина залегания варьируется от 270 до 500 м. На протяжении всей выработки выявлены одиночные трещины с I-узлами на концах («изолированными»), располагающиеся по правому и левому бортам выработки в количестве от 1 до 3 штук, параллельных друг другу, и повторяющие гипсометрию слагаемой угольной пачки. На пикете 9 (шаг пикетажа 10 м) выявлены разветвляющиеся трещины (обозначаемые Y-узлами), примыкающие к осевой трещине под углом 30° и уходящие в почву выработки. После 107 пикета встречаются разветвляющиеся трещины, расположенные перпендикулярно (угол 90°) к почве выработки. Пересекающиеся трещины (обозначаемые X-узлами) при визуальном исследовании не выявлены.

I и Y-узлы являются окончаниями одной трещины. Количество трещин ( $N_L$ ) вычислим по формуле (1) и составим диаграмму по фактическим данным, визуалью обнаруженным в конвейерном бремсберге 13\* (рис. 4):

$$N_L = 1/2*(N_I+N_Y) \quad (1)$$



Рис. 3. Диаграмма количественного распределения I, Y, X-узлов по пикетам



Рис. 4. Диаграмма числового значения количества трещин по пикетам



Количество ветвей на каждую трещину вычисляем по формуле (2). Два I-узла относятся к одной ветви, Y-узел имеет отношение к трем ветвям, а X-узел – к четырем ветвям. Фактические данные вычисленного количества ветвей из данных, визуально обнаруженных в конвейерном бремсберге 13\*, отображаются на диаграмме (рис. 5).

$$N_B = 1/2*(N_I+3N_Y+4N_X) \quad (2)$$



Рис. 5. Диаграмма числового значения количества ветвей по пикетам

В системе изолированных трещин будут преобладать I-узлы и соотношение количества ветвей к количеству трещин стремится к единице ( $N_B/N_L \rightarrow 1$ ), а в системе длинных, пересекающихся трещин будут преобладать X-узлы и соотношение количества ветвей к количеству трещин стремится к бесконечности ( $N_B/N_L \rightarrow \infty$ ). Соотношение количества ветвей к количеству трещин ( $N_B/N_L$ ) по конвейерному бремсбергу 13\* показано на диаграмме (рис. 6), также можно вычислить по формуле (3):

$$N_B/N_L = (N_I+3N_Y+4N_X)/(N_I+N_Y) \quad (3)$$



Рис. 6. Диаграмма соотношения количества ветвей к количеству трещин по пикетам

Из количественного соотношения Y, X-узлов по формуле (4) вычисляем количество соединений на трещину ( $C_L$ ), т. к. соединение трещин происходит в местах Y, X-узлов:

$$C_L = 2(N_Y+N_X)/N_L = 4(N_Y+N_X)/(N_I+N_Y) \quad (4)$$

На диаграмме (рис. 7) показаны числовые значения количеств соединений на трещину по конвейерному бремсбергу 13\*. В соответствии с теоретическим треугольным графиком разных сетей (рис. 2)  $C_L = 2$  обозначает предел, выше которого создание связующего кластера невозможно, а  $C_L = 3,57$  обозначает порог перколяции, т. е. перехода от отдельных несвязных трещин к связной сети.



Рис. 7. Диаграмма среднего количества соединений на трещину по пикетам

Исследуемая сеть трещин по конвейерному бремсбергу 13\* относится к плохосвязной сети трещин по преобладанию трещин с I-узлами (рис. 3). Дальнейшие расчеты количества трещин, количества ветвей и соотношения этих параметров подтверждают плохую связность сети. Характеристика сети трещин по конвейерному бремсбергу 13\* при визуальном обследовании выработки в зависимости от параметра ( $N_B/N_L$ ) показала несвязную сеть трещин с 10 по 108, 110–150 и 153–180 пикет. На пикетах с 1 по 10, 109–110, 151–153 и 181–183 числовое значение соотношения количества ветвей к количеству трещин варьируется от 1 до 3, что характерно для системы с примыкающими трещинами, обозначаемыми Y-узлами (рис. 6). Диаграмма среднего количества соединений на трещину в общем указывает на несвязность сети трещин по конвейерному бремсбергу 13\*, за исключением сети трещин на 1, 9, 109, 153 и 183 пикетах.

Метод визуального исследования конвейерного бремсберга 13\* и выделение трещин с I, Y и X-узловыми соединениями показал несвязную сеть трещин по падению угольного пласта Байкаимского.

### Литература

1. Топология // Большая российская энциклопедия. Каталог – URL: <https://bigenc.ru/c/topologia-6b610e> (дата обращения: 31.10.2024).
2. Геологический словарь // Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского – URL: <https://karpinskyinstitute.ru/ru/public/sprav/geodictionary> (дата обращения: 31.10.2024).
3. Мессершмидт Д. Г. Дневники: Тобольск–Тара–Томск 1721 г. / Пер. с нем. А. В. Моревой. – Томск : Демос, 2021. – 130 с.
4. Реструктуризация угольной промышленности // Министерство энергетики РФ. – URL: <https://minenergo.gov.ru/industries/coal/main-indicators/restructuring-of-the-coal-industry> (дата обращения: 01.05.2024).
5. Полысаевский городской округ // Официальный сайт администрации Полысаевского городского округа. – URL: <http://www.polysaevo.ru/poselenie/o-poselenii> (дата обращения: 01.05.2024).
6. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 июня 2020 г. № 1582-р. – URL: [https://minenergo.gov.ru/upload/iblock/ee4/ngpuwtmbom0h7iz66p6mzig3h2iinntai/Programa\\_razvitiya\\_ugolnoy\\_promyshlennosti\\_Rossii\\_na\\_period\\_do\\_2035\\_goda\\_novaya\\_redakciya.pdf](https://minenergo.gov.ru/upload/iblock/ee4/ngpuwtmbom0h7iz66p6mzig3h2iinntai/Programa_razvitiya_ugolnoy_promyshlennosti_Rossii_na_period_do_2035_goda_novaya_redakciya.pdf) (дата обращения: 31.10.2024).
7. Тимофеев Е. П., Рылов А. П. Горная геометрия. 2-е Изд. – М. : Недра, 1987. – С. 183–190 с.
8. Угольная база России. Т II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны, месторождения Алтайского края и Республики Алтай) / Гл. редактор В. Ф. Череповский. – М. : ООО «Геоинформцентр», 2003. – С. 7–32.
9. Sanderson D. J., Nixon C. W. The use of topology in fracture network characterization // Journal of Structural Geology. – 2015. – Vol. 72. – P. 55–66.

# ВЛИЯНИЕ СЛОИСТОСТИ НА УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПО ДАННЫМ КЕРНОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Е. А. Юровских<sup>1,2</sup>, Р. К. Непоп<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>ООО ПетроГМ, Новосибирск, yurovskikh.ea@petrogm.com

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск

<sup>3</sup>Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск

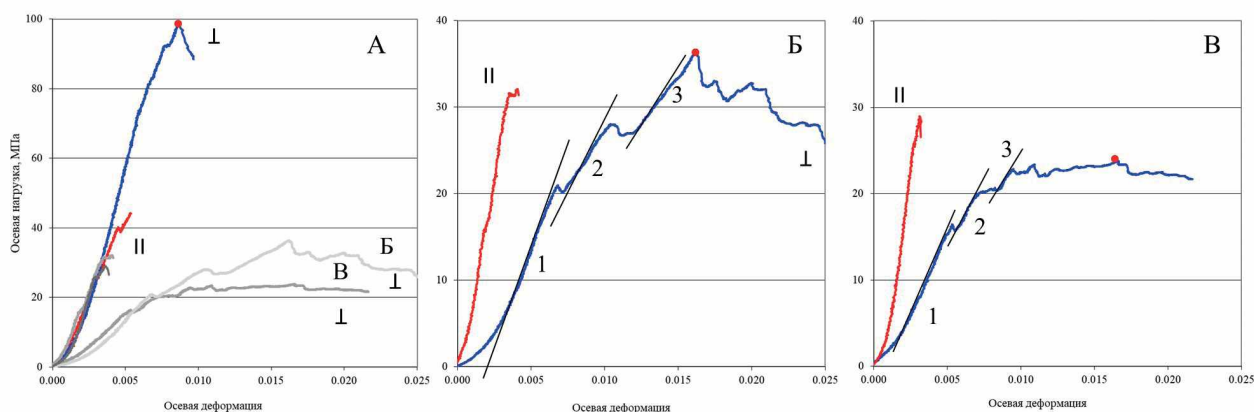
**Введение.** Эффективность разработки месторождений углеводородов (УВ) в значительной степени зависит от способности точно охарактеризовать структуру продуктивного пласта, геомеханические свойства пород и напряженно-деформированное состояние горного массива. Для решения этих задач используются различные методы, каждый из которых имеет свою область применения, сопутствующие ограничения, разрешающую способность и позволяет получать уникальные знания о вскрываемом скважиной геологическом разрезе. Результаты сейсмических исследований, геофизических исследований скважин (ГИС), экспериментов на керне, а также данные, получаемые во время строительства, опробования и эксплуатации скважин, являются источником важной информации о геометрии, литологии, содержании флюида и механических свойствах продуктивного пласта, покрышки и пропластков. Следует отметить, что разрешающая способность этих методов существенно различается и определяет характерный пространственный размер изучаемой области, а также точность получаемых свойств горной породы. По этой причине не существует какого-либо одного универсального метода исследования. Фундаментальными причинами этого являются также анизотропия физических свойств горных пород, наличие неоднородностей, разнотипность и разноразмерность порового пространства и т. д. Таким образом, можно говорить о наличии различных иерархических уровней (рис. 1), на которых возможно изучение недр и соответствующих этим уровням методов исследований.

**Методы исследования недр и их разрешающая способность.** Важным инструментом изучения недр на большой площади в масштабах месторождений и нефтегазоносных провинций являются *сейсмические исследования*. Сейсморазведка является единственным дистанционным методом, дающим представление о строении и физических характеристиках глубоко залегающих пластов. Результаты сейсмических исследований используются и для распространения различных свойств геологической среды в межскважинном пространстве при моделировании. В основе метода лежит регистрация искусственно возбуждаемых сейсмических волн, распространяющихся в недрах и отражающихся/преломляющихся на границах сред с различными физическими свойствами, а его разрешающая способность зависит от длины волны, глубины залегания толщ и в большинстве случаев составляет метры – первые десятки метров.

В основе *геофизических исследований скважин* лежит измерение различных характеристик породы специальными скважинными приборами непосредственно в открытом стволе. Результаты измерений представляются в виде каротажей – значений отдельных физических величин, привязанных к глубине. ГИСы позволяют проводить изучение недр на уровне пласта/толщи и околоскважинного пространства, а используемые методы (электрические, магнитные, радиоактивные, акустические, термические и т. д.) в большинстве своем обеспечивают разрешающую способность в первые десятки сантиметров. Отдельным направлением



Рис. 1. Различные иерархические уровни, на которых ведется изучение недр для решения разнообразных задач при поиске и разработке месторождений УВ



**Рис. 2.** Результаты тестов на одноосное сжатие образцов-дублеров, выпиленных перпендикулярно (I) и параллельно (II) напластованию из глинистых отложений покрывки

A – диаграммы нагружения всех исследованных образцов (таблица), B, B – диаграммы нагружения образцов со СН. Цифрами показаны различные стадии разрушения и линейный участки, соответствующие упругим деформациям, красная точка соответствует точке разрушения, для которой рассчитывался предел прочности (UCS)

ГИС является *микронзондирование* – детальное исследование стенок открытого ствола и при-скважинной зоны микронзондами, которые обеспечивают высокое (вплоть до миллиметрового) разрешение и четкость изображений.

Важную информацию о напряженно-деформированном состоянии горного массива дают данные, получаемые при строительстве, опробовании и эксплуатации скважин – *буровая информация*. К таким данным относятся интервалы глубин, в которых отмечались посадки/затяжки инструмента, поглощения/проявления бурового раствора, результаты специальных тестов в открытом стволе, данные ГТИ. Все эти события используются для калибровки моделей. Они связаны с пластами и толщами с определенными петрофизическими свойствами, что и определяет разрешающую способность получаемых данных.

Свойства горных пород, вскрываемых скважиной, могут быть исследованы прямыми методами, путем отбора и непосредственного изучения образцов керна. *Эксперименты с керновым материалом* дают представление о литологическом строении пластов и их коллекторских свойствах, геомеханических и петрофизических характеристиках породы, нефтенасыщенности и физико-химических свойствах флюида и т. д. На результаты керновых исследований проводится калибровка геомеханических и гидродинамических моделей, а также увязка данных ГИС. Согласно принятым в отрасли ГОСТам [1; 2], большинство экспериментов проводится на стандартных ( $D \sim 30$  мм  $L \sim 60$  мм) цилиндрических образцах, выпиленных перпендикулярно или параллельно напластованию. Для некоторых тестов требуются укороченные ( $L \sim 30$  мм) или полноразмерные образцы ( $D \sim 60$ – $100$  мм), однако во всех случаях речь идет о характерном размере образцов и, соответственно, о разрешающей способности метода в первые сантиметры.

Информация о внутренней структуре породы может быть получена с помощью анализа *шлифов*, методами *растровой электронной микроскопии* и *рентгеновской компьютерной томографии*. Эти методы позволяют исследовать объекты с характерными размерами менее 1 мм, что во многих случаях дает представление о поровом пространстве, минеральных включениях, неоднородностях и структурных особенностях горной породы.

В данной работе представлены результаты керновых исследований отложений покрывки ачимовских отложений на одном из месторождений УВ Западной Сибири, выявившие наличие глинистых отложений, принципиальным образом отличающихся по своим геомеханическим свойствам. Слоистая структура материала и наличие пластических пропластков мощностью в первые миллиметры предопределяет сложность (и зачастую невозможность) эффективного использования традиционных методов для определения упруго-прочностных свойств

Результаты определения упруго-прочностных свойств глинистых отложений покрышки для образцов, выпиленных перпендикулярно (I) и параллельно (II) напластованию\*

Образец	Тип	Ориентация	Стадия (линейный участок)	Предел упругости, мПа	$E_{st}$ , ГПа	UCS, мПа
#1	1	I	1	73.0	17.9	98.8
#2	1	II	1	38.0	10.0	44.2
#3	2	I	1	18.0	4.7	36.4
			2	25.5	2.5	
			3	32.2	2.2	
#4	2	I	1	14.8	4.4	23.8
			2	19.4	3.3	
			3	21.0	2.0	
#5	2	II	1	15.0	11.5	32.1
#6	2	II	1	25.0	13.9	29.0

\* тип образца: (1) – «обычные» глины и (2) – глины со сложным напластованием.

горной породы. Тем не менее, эти свойства играют критически важную роль при решении различных актуальных задач отрасли, к которым можно отнести задачу безаварийного строительства скважин или проведения эффективного гидроразрыва пласта (ГРП).

**Результаты керновых исследований.** Прямые эксперименты с керном дают понимание упруго-прочностных характеристик горной породы. Разрешающая способность таких исследований ограничивается линейными размерами образцов ( $D \sim 30$  мм,  $L \sim 60$  мм в случае геомеханических тестов [1]). При этом при проведении экспериментов действующими ГОСТами регламентируется выбор геологически однородных петрофизических групп пород [2]. Иными словами, определяемые свойства должны соотноситься с материалом, представляющим собой единую литологическую разность. Наличие маломощных (до 1 мм) пропластков с контрастными геомеханическими свойствами коренным образом меняет упруго-прочностные характеристики (слоистого) материала. При этом выделение таких пропластков во вскрываемом скважиной разрезе затруднено и связано с разрешающей способностью используемых методов (прежде всего ГИС и керн).

Остановимся подробнее на результатах исследования керна (рис. 2, таблица). Механические свойства горных пород определялись в ходе экспериментов на одноосное сжатие на образцах-дублерах, выпиленных из отложений покрышки перпендикулярно и параллельно напластованию. Анализ деформационных кривых выявил наличие двух типов глинистых отложений (рис. 2, А), резко отличающихся как характером деформаций, так и упруго-прочностными свойствами материала (значениями модуля Юнга -  $E_{st}$ , и предела прочности на одноосное сжатие – UCS). Для первого типа характерно «традиционное» поведение, когда значения UCS и  $E_{st}$  выше для образцов, выпиленных перпендикулярно напластованию, а на графиках выделяется область упругих и пластических деформаций. Для второго типа глинистых отложений помимо существенно более низких (по сравнению с первым типом) значений упруго-прочностных характеристик образцов, выпиленных перпендикулярно напластованию, наблюдается ситуация, когда они еще и ниже упруго-прочностных характеристик образцов-дублеров, выпиленных параллельно напластованию. Деформационные кривые имеют «пилообразную» форму, где каждой последующей стадии соответствует меньшее значение модуля Юнга (рис. 2, Б, В).

Причиной такого поведения материала является наличие тонких пластических пропластков, дающих эффект сложного напластования (СН) [3]. В настоящий момент доступные методы исследований не позволяют ни охарактеризовать механические свойства «сложного» материала, являющимся комбинацией (переслаиванием) материалов с контрастными геомеханическими свойствами, ни достоверным образом идентифицировать в разрезе глинистые отложения со СН. Наряду с этим решение обеих задач представляется актуальным как в контексте расчета устойчивости стенок ствола скважины (и, соответственно, безаварийного бурения), так и в контексте расчета барьеров для распространения трещины ГРП (и, соответственно,

проведения эффективного гидроразрыва пласта). Дальнейшие перспективы решения обозначенных задач мы связываем с численным моделированием процесса разрушения образцов, охарактеризованных эффектом СН, позволяющим количественно описать этот процесс и дать качественное представление о природе действующих деформаций.

### Литература

1. ГОСТ 28985-91. Межгосударственный стандарт. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии (утв. и введен в действие от 01.07.1992). – М. : ИПК ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ, 2004. – 10 с.

2. ГОСТ 26450.0-85. Государственный стандарт Союза ССР. Породы горные. Общие требования к отбору и подготовке проб для определения коллекторских свойств утв. и введен в действие Постановлением Госстандарта СССР от 27.02.1985, № 424). – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. – 6 с.

3. Непон Р. К., Смирнов Н. Ю., Рейес Аумада В. и др. Учет эффекта сложного напластования при оптимизации гидроразрыва пласта с применением геомеханического моделирования // Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 4. – С. 26–31.

## ВЫЯВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФАЦИАЛЬНОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ АПТСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОКУРСКОЙ СВИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ГИС И СЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА КЕРНА

А. М. Яшмолкин, Ю. В. Нефедов, Н. Н. Востриков, А. В. Логинов

*Санкт-Петербургский горный университет Екатерины II,  
Санкт-Петербург, hadievarslan@mail.ru*

Экономическая целесообразность диктует необходимость наращивания ресурсной базы углеводородов. В связи с неизбежным истощением запасов нефти и газа на разрабатываемых месторождениях закономерно все более очевидной становится необходимость сосредоточения усилий на разведке и разработке более геологически сложных коллекторов нефти и газа, к которым и относятся изучаемые продуктивные пласты.

Для успешной разработки любого НГК необходимо понимание о пространственном распределении ФЕС коллекторов, которое неразрывно связано с фациальной зональностью.

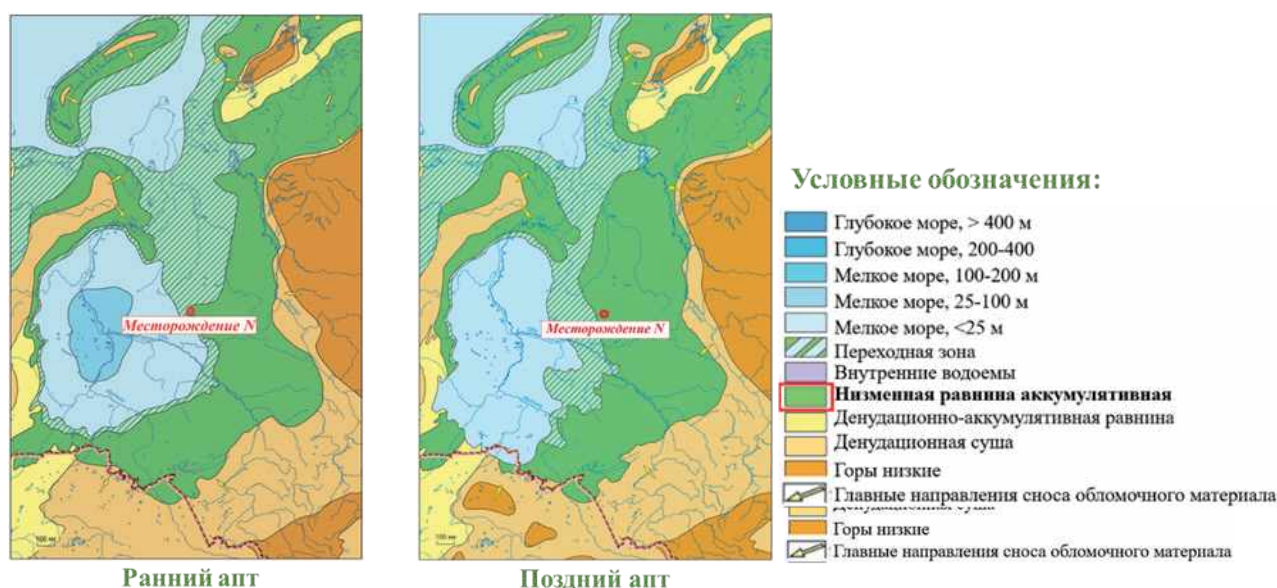
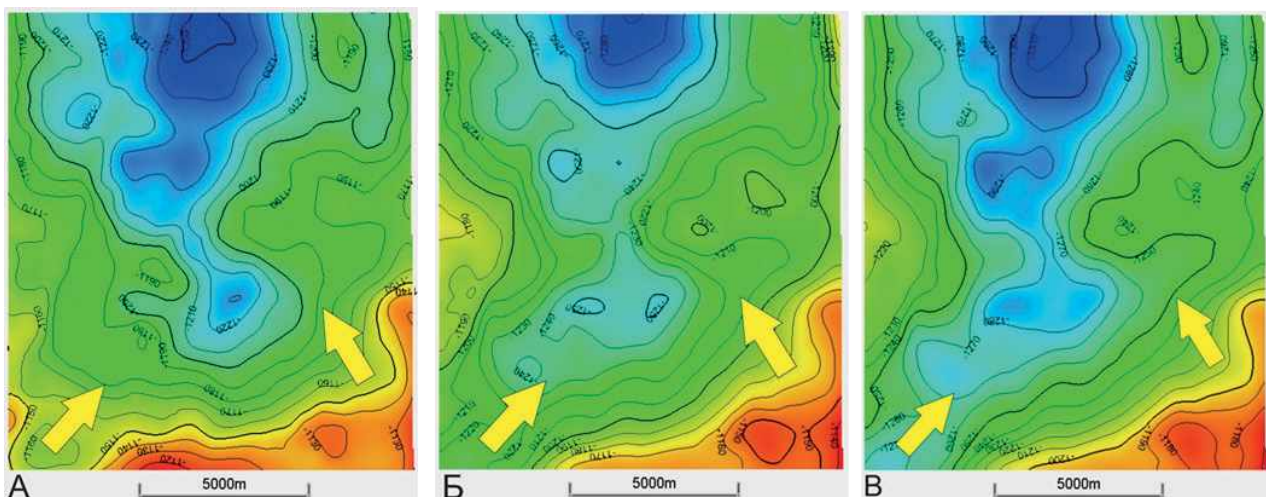
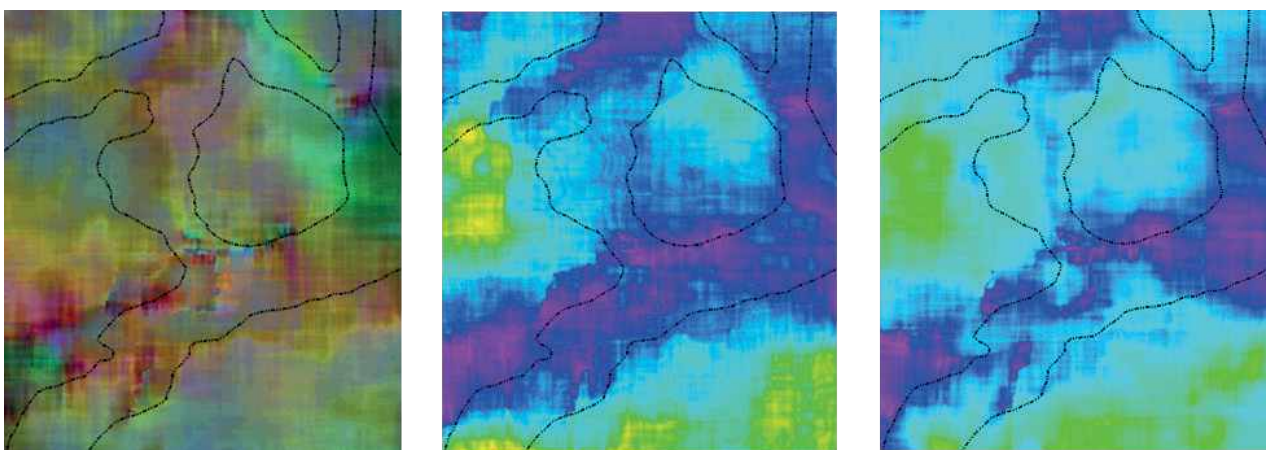


Рис. 1. Палеогеографическая реконструкция Западно-Сибирского осадочного бассейна с указанием исследуемого месторождения [2]



**Рис. 2. Карты палеорельефа на момент формирования пластов ПК22-2 (А), ПК22-1 (Б), ПК21-1 (В). Желтые стрелки указывают направления сноса осадочного материала (материалы авторов)**



**Рис. 3. Пример результатов атрибутного анализа, выполненного для пласта ПК22-2 (слева направо): RGB-смешивание частот 21 Гц, 36 Гц, 64 Гц; поверхностный атрибут maximum magnitude; объемный атрибут sweetness (материалы авторов)**

Для определения фациальных зон в данной работе использовался следующий комплекс исследований – электрофациальный анализ данных ГИС, седиментологический анализ доступного кернового материала по скважинам, атрибутный анализ сейсмических данных. Комплексирование выводов по вышеперечисленным видам исследований позволяет сделать предположение о распределении фаций на месторождении, и как следствие, о распределении фильтрационно-емкостных свойств, что в свою очередь влияет на выбор перспективных участков для дальнейшей работы.

Месторождение N расположено большей частью на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, а также в северной части Ханты-Мансийского автономного округа. Однако продуктивные пласты ПК21-22 целиком располагаются на территории ЯНАО.

Объект исследования – отложения пластов ПК21-1, ПК22-1, ПК22-2-0, ПК22-2 покурской свиты аптского яруса нижнего отдела меловой системы.

Залежи нефти и газа, выявленные в этих пластах, относятся к Апт-Сеноманскому НГК [1].

Свита сложена неравномерным переслаиванием песка, песчаника, алевролита и глин с прослойками углисто-слюдистого материала.

Данные отложения являются очень сложным объектом для корреляции по причине литологической и фациальной неоднородности, отсутствия надежных реперов.

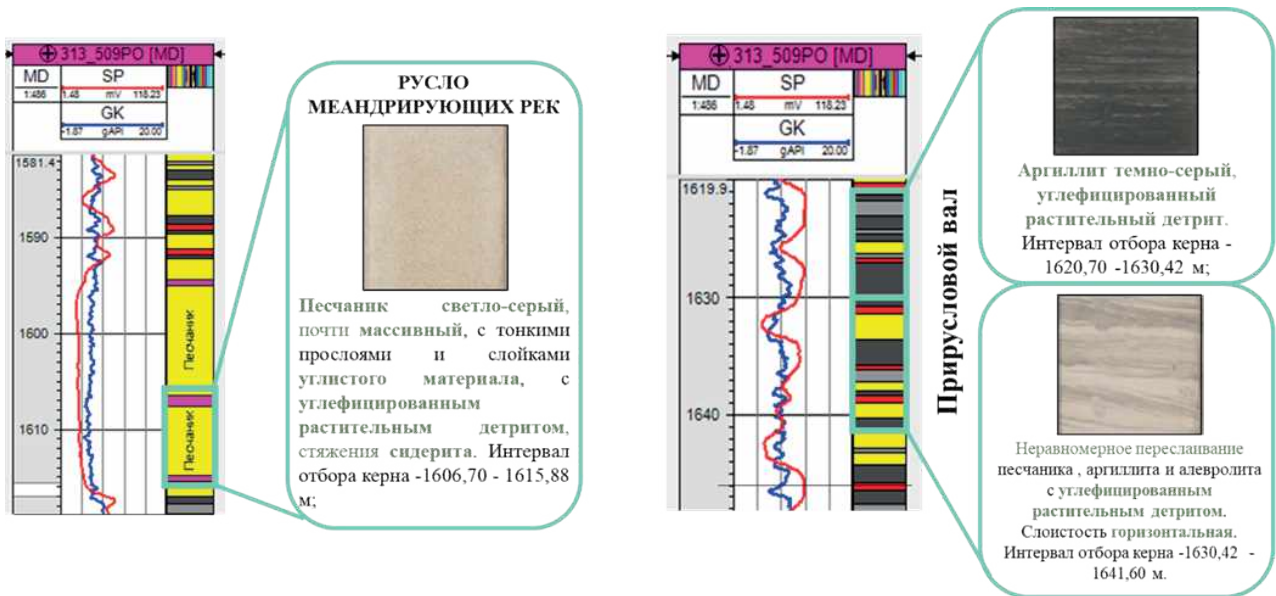


Рис. 4. Пример результатов седиментологического анализа ядра по пласту ПК21-1 (слева) и ПК22-1 (справа) (материалы авторов)

Для отложений группы пластов ПК21-22 были определены условия осадконакопления по палеогеографическому атласу А. Э. Конторовича [2]. Согласно этому атласу, породы покурской свиты аптского возраста месторождения N формировались в континентальных условиях низменной равнины при обширной регрессии морского бассейна (рис. 1).

В рамках данной работы были построены карты палеорельефа, соответствующие этапам формирования продуктивных пластов ПК21-22. Карта палеорельефа получена путем вычитания структурной поверхности кровли баженовской свиты из структурной поверхности исследуемого горизонта.

Полученные карты отражают концепцию низменной аккумулятивной равнины, дают представление об участках, где может концентрироваться осадочный материал (рис. 2).

Далее для выявления фациальных зон был проведен атрибутный анализ сейсмических данных. Были получены результаты анализа с выделенными по совокупности исследований

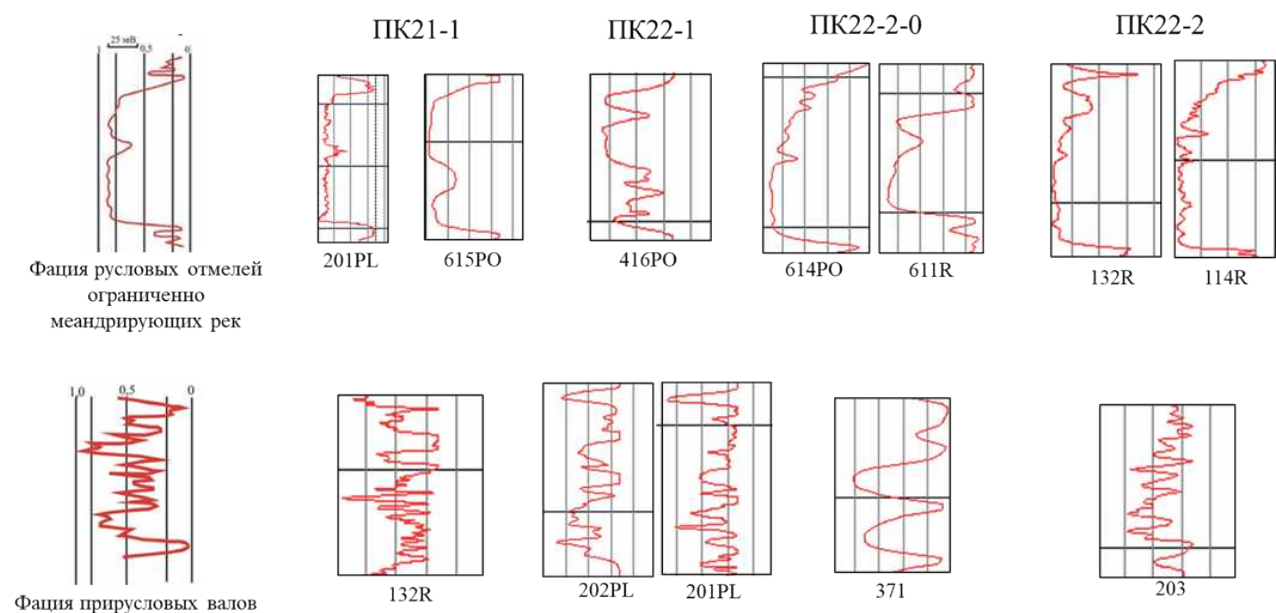
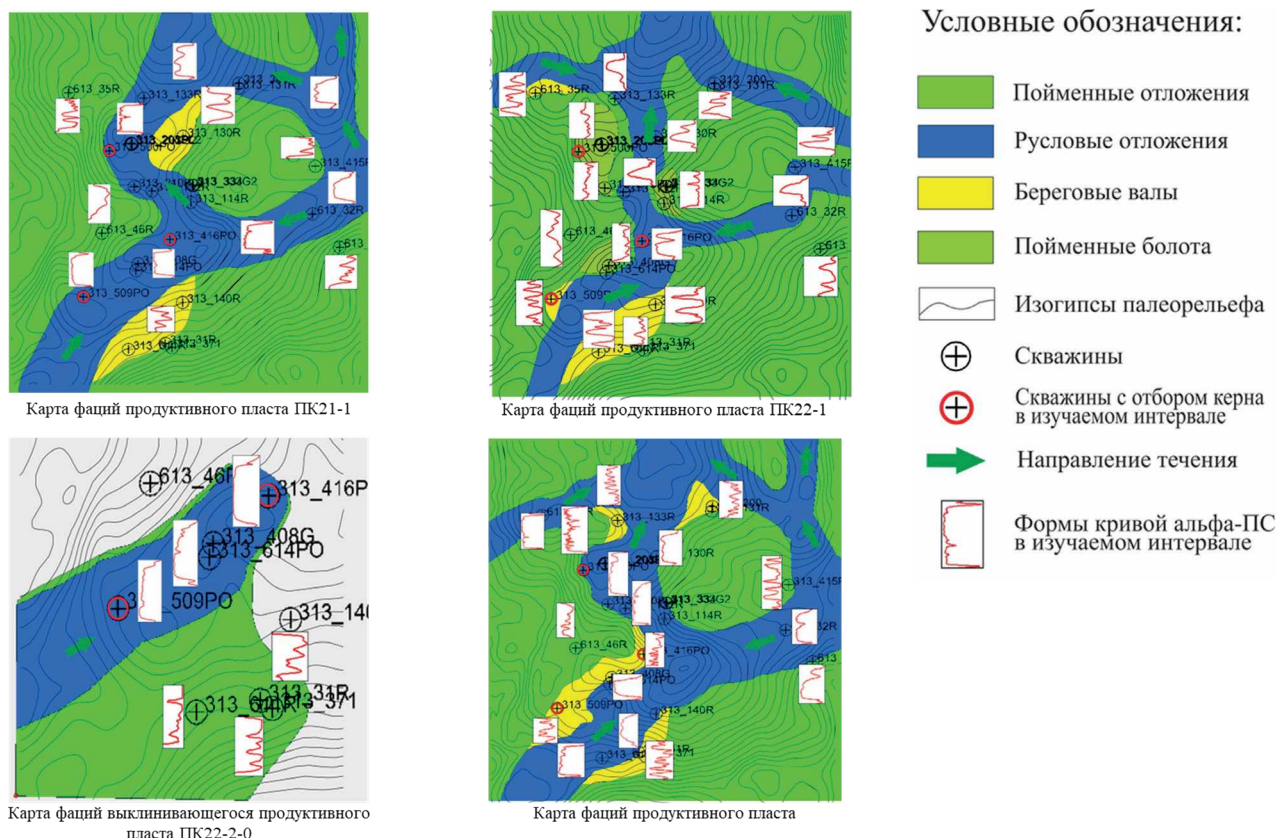


Рис. 5. Пример результатов сравнения форм кривой ПС различных скважин с типовыми кривыми В. С. Муромцева для русловых фаций (материалы авторов)





**Рис. 6. Карты распределения фациальных зон продуктивных пластов ПК21-22 (материалы авторов)**

линеаментами, соответствующими, предположительно, русловым отложениям (рис. 3). Выявленные атрибуты визуально соответствуют априорной модели формирования продуктивных пластов, очевидна визуальная зависимость между формой геологических фаций и сейсмическими образами по полученным атрибутам.

Также был проведен седиментологический анализ доступного кернового материала. Анализ данных керна позволил выделить специальные маркеры, с помощью которых была определена принадлежность отложений к определенной фации (рис. 4).

Еще одним из способов определений фаций является анализ данных геофизических исследований скважин, а именно кривых ПС и ГК [4].

В первую очередь, данные ГИС были проанализированы с помощью методики электрофациального анализа В. С. Муромцева. Метод заключается в соотношении кривой самополяризации исследуемого интервала с типовыми кривыми Муромцева [3]. Примеры соотношения электрометрических моделей песчаных тел-коллекторов аллювиального комплекса фаций с данными ГИС приведены ниже (рис. 5). Таким образом, по данной методике, осадконакопление происходило на континенте в условиях русла меандрирующей реки, прирусловых валов, временно заливаемых участков поймы и пойменных болот.

Аналогично методике В. С. Муромцева только с применением данных по кривой ГК были проведены исследования по методикам анализа геофизических данных Дж. Кэнта и Р. Селли [4; 5].

В результате проведенных исследований были получены непротиворечащие друг другу результаты об условиях осадконакопления каждого из четырех продуктивных пластов покурской свиты. Данные результаты были обобщены и представлены в виде карт фациального распределения (рис. 6).

На картах прослеживаются каналы русел рек, прирусловые валы и пойменные болота. Остальную часть территории занимают временно заливаемые участки пойм. Ширина речных каналов изменяется в пределах 1–3 км. Средняя амплитуда меандр – 5 км. Полученное распределение фациальной зональности напоминает строение известнейших в мире крупных

меандрирующих рек – Амазонки в Америке и Брахмапутры в Индии. Более внимательное изучение современных седиментационных процессов этих рек позволит строить более детальные седиментационные модели интересующих продуктивных отложений.

Построенные в данной работе карты распределения фациальных зон позволят выделить наиболее перспективные для дальнейшей разработки участки.

### Литература

1. *Вассоевич Н. Б.* Уточнение понятий и терминов, связанных с осадочными циклами, стадийностью литогенеза и нефтегазообразования // Основные теоретические вопросы цикличности седиментогенеза. – М., 1977. – С. 34–58.
2. *Конторович А. Э., Еришов С. В., Казаненков В. А.* и др. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в меловом периоде // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 5. – 745–776 с.
3. *Муромцев В. С.* Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Л. : Недра, 1984. – 260 с.
3. *Пахомов В. И., Косков В. Н.* Литология природных резервуаров с использованием фациально-циклического метода и промыслово-геофизических данных: учеб. пособие. – Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – 168 с.
4. *Cant D.* Subsurface Facies Analysis // Geological Survey of Canada. – 1992.
5. *Selley R.* Concepts and Methods of Subsurface Facies Analysis // American Association of Petroleum Geologists. – 1978. – Vol. 9.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ,  
ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ И ИИ

# СОВРЕМЕННЫЕ БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ РЕВОЛЮЦИЮ ИНДУСТРИИ-4. ОГРАНИЧЕНИЯ, РЕАЛИЗАЦИЯ, ПЕРСПЕКТИВЫ – ОБЗОР

А. М. Асавин<sup>1</sup>, С. С. Баскаков<sup>2</sup>, А. В. Литвинов<sup>3</sup>, Е. И. Чесалова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, Москва*

<sup>2</sup>*Московский Государственный технологический университет им. Н. Э. Баумана, Москва*

<sup>3</sup>*Национальный Исследовательский Ядерный Центр «МИФИ», Москва*

<sup>4</sup>*Государственный геологический музей им. В. И. Вернадского, Москва, aalex06@inbox.ru*

**Введение.** Начиная примерно с 2010-х годов, в горнодобывающей промышленности объективно создалась ситуация очень низкой эффективности добычи и невысокой производительности труда. Горная промышленность, несмотря на ее высокую долю в ВВП многих сырьевых стран, остается одной из самых низкотехнологических традиционных видов производства. Ранее используемые методы разработки новых месторождений, поиски нетрадиционных типов месторождений и новых районов добычи и другие попытки инноваций не оправдали ожиданий. Возникла идея внедрения достижений информационных технологий с целью улучшения ситуации. Идея цифровизации и роботизации горной промышленности получила названия 4-й промышленной революции – Индустрия-4 [4; 5; 6; 27].

В настоящее время существует обширная литература по экономике, социально-экономическим аспектам развития, техническим вопросам Индустрии-4 [3; 9; 27]. И это не говоря о принятых Правительством РФ постановлениях о цифровизации промышленности России в 2022–2023 гг. Однако ряд основополагающих технологий этого подхода, в частности системы передачи данных и мониторинга окружающей среды, еще остаются нерешенными и нуждаются в теоретическом и практическом воплощении.

Вопрос об использовании технологии передачи данных рассматриваемых в этом обзоре, как нам кажется, является одним из главных вопросов в реализации концепции Индустрии-4. Задача автоматизированной передачи данных и построения надежной обратной связи между работой механизмов на производстве и текущих условий в процессе разработки полезных ископаемых создает условия внедрения информационных технологий в управлении горнорудным производством. Идеологию Индустрии-4 невозможно реализовать, если в режиме реального времени такого обмена информацией не будет. Поэтому, только с появлением в начале 2000-х годов технологи WSN (wireless sensor network или в русской транскрипции БСС) были созданы предпосылки к появлению концепции Индустрии-4.

В данном докладе мы хотели бы привести обзор текущих работ на данную тему поскольку, несмотря на значительную актуальность темы, количество текущих публикаций в России невелико, что на фоне нескольких сотен публикаций в год в развитых странах – Китай, Канада, Индия, США, Австралия выглядит явно недостаточным [13; 16].

Кроме того, в 2015–2019 гг. нам удалось развернуть первую в России систему мониторинга рудничной атмосферы на основе WSN сети на руднике Карносурт (Кольский полуостров) [1; 11]. В процессе работ над проектом мы получили собственный опыт по организации современной сети передачи данных в подземном горнорудном производстве (рисунок, таблица).

Основные особенности работы сети WSN в условиях подземных горных выработок. Условно конструкцию WSN сети можно разделить на четыре части:

- сеть узлов-модов, которые соединяются по радиоканалам между собой;
- сенсоры, которые обеспечивают поступление информации о состоянии окружающей среды;
- сервер-шлюз, который обеспечивает передачу данных во внешние информационные сети и осуществляет управление текущим состоянием узлов сети;
- программное обеспечение, которое в каждом из трех сегментов сети обеспечивает получение текущей информации, ее сохранение, сбор и передачу во внешний сервер.

Для конечной передачи данных оператору мы использовали GSM протокол по обычной сотовой сети, хотя возможно использование для «последней мили» и сетевой проводной технологии при наличии кабельной сети на руднике.

Вот основные особенности при построении сети на руднике, которые следует учитывать.

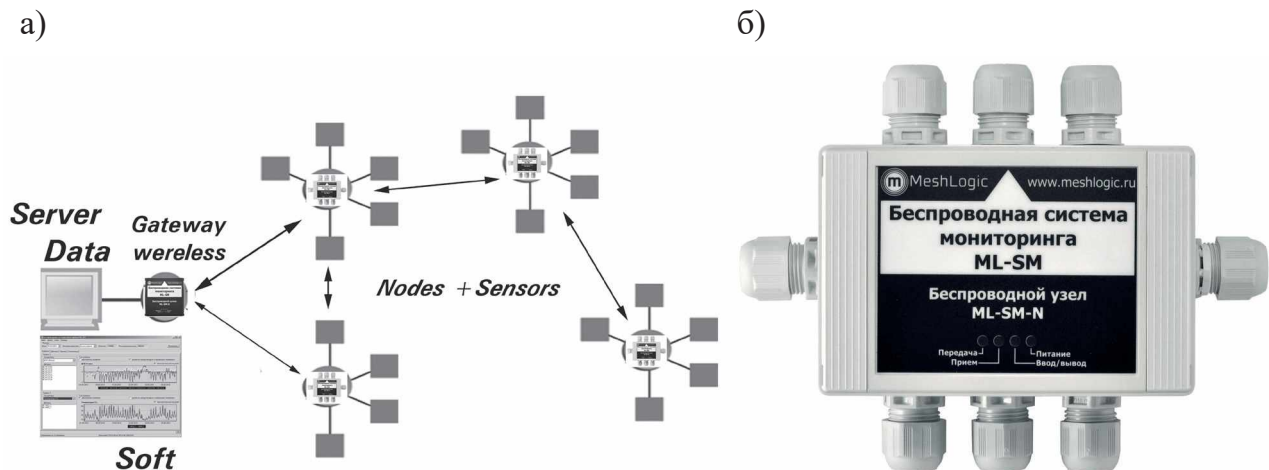
1. Плохие условия для прохождения радиосигнала и небольшая дальность связи. Это вызвано прежде всего сильными периодическими помехами при работе горнорудного оборудования электрорудовоза, систем вентиляции и откачки воды. Сильная обводненность и влажность в штреках. Запыленность атмосферы. Рабочее расстояние между узлами, конечно, сильно меняется, но эксперименты с расположением узлов показали, что оптимально оно не должно превышать 50–100 м. Для организации мониторинга непосредственно во взрывной, рабочей зоне необходимо учитывать возможность механического разрушения оборудования за счет разброса камней при взрывах или завалов при обрушении кровли. При неудачном расположении оборудования мы потеряли несколько узлов, хотя общая конструкция достаточно неплохо была защищена.

2. Для реализации технологических преимуществ WSN желательна их работа в автономном режиме оптимально длительное время. Такой подход поддерживает безлюдную технологию работы, обеспечивает низкие затраты и безопасность работы. Однако использования сенсоров на узле требует источников энергии. Для нашего проекта оптимальным оказался срок в 30–40 дней. Это время работы обеспечивали аккумуляторы GS 18-12 AGM VRLA 12V 18Ah. Надо отметить, что на этапе настройки сети и выборе оптимальной частоты наблюдений при использовании сенсоров расход энергии был более значительным и аккумуляторы приходилось менять значительно чаще. Низкие температуры в шахте на уровне +3–5 °С также способствуют быстрой разрядке источников энергии.

3. Большая сложность существует при организации передачи данных во внешние информационные сети. Подземная разработка предполагает изолированность при прохождении сигнала. В большинстве случаев нет возможности без специальных работ выйти на поверхностные сети. Либо необходимо использовать специальные скважины или вентиляционные штреки для прокладки кабельных каналов на поверхность. Однако это сильно удорожает систему. Вопрос «последней мили» мы решили за счет использования для связи с поверхностным сотовым модемом GSM, установленного на поверхности у входа в шахту, по витой паре на расстоянии 250 м, связанному со шлюзом, к которому по цепочке стандартных модов на расстоянии до 2 км подключалась основная рабочая сеть мониторинга. Ясно, что чем дальше от входа располагается зона активной добычи руды, тем больше будут затраты для доставки сигнала на поверхность и выше цена сети.

Мы перечислили основные технические проблемы, с которыми мы столкнулись при развертывании WSN сети и ее обслуживании, однако это еще только первый уровень сложности. Очень важно, чтобы программное обеспечение работы сети наблюдения и сенсоров позволяло управлять изменением частотой наблюдений каждого из сенсоров индивидуально. Это существенно снижает затраты на эксплуатацию, позволяет проводить автономное обслуживание и уменьшает количество лишней информации. Так, наше программное обеспечение позволяет менять частоту наблюдения от минут до нескольких часов. Непосредственно во время взрывных работ частота была максимальной, а во время очистки штрека она уменьшалась.

**Опыт других исследователей.** Некоторые из перечисленных проблем и особенностей в организации сетей WSN отмечены в работах других исследователей. Довольно много исследователей пытаются теоретически обосновать частоту расположения узлов сети [13; 18; 28;]. Однако эти работы носят упрощенный характер и не учитывают радиопомехи от вмещающих горных пород в подземных выработках и радиоактивность работающей техники и их результаты больше применимы к поверхностным WSN. Интересная работа [30] в этом плане выполнена по оценке распространения радиоволн в подземных выработках, но это единичное исследование.



**Принципиальная схема конструкции WSN сети**

*а* – блок-схема сети, *б* – фото стандартного модуля – узел связи без подключенных датчиков и блока питания

Одной из наиболее важных возможностей WSN сетей это позиционирование положения узлов и отслеживание треков движения объектов [10; 20; 23; 33; 34]. Это создает, с одной стороны, систему контроля над техникой и людьми в подземном пространстве, а с другой, позволяет реализовать управление производством и поднимать эффективность добычи. Важно также, что в случае использования радарных сенсоров совместно с WSN сетью возникает технологическая возможность наблюдения за движением подземных разломов, трещин, устойчивостью горного массива, уклонами отвалов и осыпей на карьерах и решением других близких задач [19; 35]. Это очень важное направление, позволяющее увеличить безопасность горных работ и эффективность отработки руды. Российские исследователи активно работают в этом направлении и имеют большой задел на рудниках месторождений апатита Хибинского массива [5]. В этих работах не используются WSN сети, но концепция цифровизации горной добычи и использования специализированного софта и сенсоров для мониторинга очень близка к рассматриваемым технологиям, поэтому не упомянуть эти работы нельзя.

Достаточно обширна литература посвященная различным сенсорам, которые могут быть использованы в WSN сетях для контроля разработки месторождения [8; 20; 21]. В основном это сенсоры для измерения газового состава рудничной атмосферы. Особенно такие оценки содержаний в атмосфере  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  актуальны для оценки рисков подземных взрывов и пожаров на угольных месторождениях. Это одна из наиболее разработанных тем в мониторинге рудничной атмосферы [12; 14; 15; 24; 31]. Многие аспекты этой проблематики были решены еще в 1990-х годах, а с появлением новых информационных и технических возможностей проекты на эту тему стали активно развиваться [22; 26]. Не очень понятно, почему практически нет публикаций на эту тему в Российской литературе.

Последнее время очень активно развивается тема сопряжения с WSN сетями технологий интернет-вещей. Это практически прямое управление механизмами при горной разработке в опасных для человека условиях [17; 25]. Однако пока сведения о таких проектах отрывочны и в основном приводятся в газетной периодике и интернет-публикациях.

Последним аспектом, о котором хотелось бы сказать в данном сообщении, это проблема разработки программного обеспечения для работы всего комплекса устройств. Это достаточно сложная проблема, поскольку необходимо решать вопросы работы в режиме реального времени, управления разнородными и разномасштабными процессами и одновременно решать вопрос об оптимизации производственных процессов. Отдельным аспектом является обработка огромных объемов данных, которая накапливается в процессе работы сети мониторинга, выявления и аномальных событий, построения прогнозно-эвристических моделей производственных процессов, создания виртуальных моделей разработки рудных залежей [7; 29; 32].

## Основные характеристики модуля, используемого нами для WSN сети рудника Карнасурт

Параметр	Значение
Тип радиоканала	IEEE 802.15.4
Диапазон частот	2400...2483,5 МГц
Выходная мощность передатчика	до 1 мВт (0 дБм)
Чувствительность приемника	-95 дБм
Напряжение питания	от 2,7 до 3,6 В
Ток потребления в режиме передачи	21 мА/24 мА/3,7 мА/9 мкА
Интерфейс управления	UART (LVCMOS)
Скорость интерфейса UART	от 9600 до 921600 бит/с
Габаритные размеры	25,4X19,05X2,7 мм
Температурный диапазон	-40...85°C

**Заключение.** Даже из этого краткого перечисления проблем, связанных с развертыванием сети передачи данных на горнорудных предприятиях, очевидно, что мы еще весьма далеки от решения задач цифровизации экономики. Поставленные перед промышленностью задачи перехода к концепции Индустрия-4 пока решаются в крайне ограниченном объеме, на отдельных направлениях, энтузиастами на местах. Наиболее активно осваивается направление разработки программного обеспечения и цифровизации отчетности. Это наиболее понятные традиционные направления. Напротив, направления, связанные с разработкой новых электронных устройств, систем передачи данных, управляющих устройств Интернет-вещей пока остаются обделены вниманием и финансированием. Хотя именно на этом направлении, как нам кажется, возможно получение непосредственного положительного экономического результата. Более продвинутые системы разработаны для нефтегазовой промышленности (в данном обзоре мы их не рассматривали). Наиболее отстающей отраслью являются, как ни странно, угольная промышленность, где к настоящему времени уже сложилась жесткая бюрократическая система контроля над производством и внедрение новых технологий практически не возможно. Академия наук и ее отделение Наук о Земле недавно принял Постановление № 70 от 11 апреля 2023 г. и № 118 от 11 июня 2024 г., в которых попытался наметить пути развития геотехнологий. Но в основном эти постановления указывают на традиционные подходы к развитию и опираются на создание дополнительных бюрократических структур. Вряд ли эти постановления помогут в преодолении существенного отставания России в этой области.

Можно надеяться, что для более молодых исследователей, которые участвуют в данной конференции, вопросы информатизации и освоения новых компьютерных технологий будут ближе и они найдут в будущем более эффективные пути перехода к Индустрии-4.

### Литература

1. Асавин А. М., Нивин, В. А. Организация геоэкологического мониторинга газовой эмиссии в Арктике: методики и перспективы современных беспроводных технологий // Арктика. Экология и экономика. – 2015. – № 3(19). – С. 30–39.
2. Баскаков С. С. Исследование способов повышения эффективности маршрутизации по виртуальным координатам в беспроводных сенсорных сетях // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2009. – № 2. – С. 112–124.
3. Лукичев С. В., Наговицын О. В. Информационная поддержка освоения и эксплуатации месторождений Хибинского горнорудного района 2023 // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 6. – С. 98–105.
4. Лукичев С. В. Цифровые горные технологии – импортозамещение и технологическая независимость // Горная промышленность. – 2023. – № 5. – С. 4–9.
5. Лукичев С. В., Наговицын О. В., Билин А. Л. и др. Научные и практические аспекты применения цифровых технологий в горной промышленности. – Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2019. – 192 с.
6. Мацко Н. А., Харитоновна М. Цифровизация горной промышленности и состояние минерально-сырьевой базы // Известия ДВФУ. Экономика и управление. – 2022. – № 3. – С. 37–47.

7. *Наговицын О. В.* Развитие горно-геологической информационной системы в современных реалиях российской горнодобывающей отрасли // Горная промышленность. – 2023. – № 5. – С. 35–40.
8. *Ракипов А. С., Поденко С. С., Мустафаев А. С.* Микроплазменные сенсоры CES в минерально-сырьевом комплексе / Отв. ред. А. Б. Маховиков // Современные образовательные технологии в преподавании естественно-научных и гуманитарных дисциплин: Сборник научных трудов IV Международной научно-методической конференции, 2017. – С. 1106–1112.
9. *Савон Д. Ю., Шкарунета Е. В., Сафронов А. Е.* и др. Цифровая трансформация производственных процессов и бизнес-моделей горнодобывающей промышленности в условиях рыночной нестабильности // Уголь. – 2021. – № 1139. – С. 32–37.
10. *Урманов Д., Полякова О., Шульцева Е.* Применение беспроводных сенсорных систем для обеспечения безопасности различных подвижных и неподвижных объектов // Беспроводные технологии. – 2012. – № 2 (27). – С. 48–51.
11. *Asavin A. M., Puha V. V., Baskakov S. S.* et al. The Experimental WSN Network for Underground Monitoring H<sub>2</sub> Abundance in the Mine Atmosphere Karnasurt Mine Lovozero Layered Alkaline Intrusion // Journal of Electronic & Information Systems. – 2019. – Vol. 1(2). – P. 15–20.
12. *Brady D.* The role of gas monitoring in the prevention and treatment of mine fires // In Aziz, N (ed), Coal 2008: Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy. – 2008. – P. 202–208.
13. *Cacciuttolo C., Guzmán V., Catriñir P.* et al. Low-cost sensors technologies for monitoring sustainability and safety issues in mining activities: advances, gaps, and future directions in the digitalization for smart mining // Sensors. – 2023. – Vol. 23(15). – P. 68–46.
14. *Cheng Zh., Zhang Zh., Hou T.* et al. Petrogenesis of nephelinites from the Tarim Large Igneous Province, NW China: Implications for mantle source characteristics and plume-lithosphere interaction // Lithos. – 2015. – Vol. 220. – P. 164–178.
15. *Dohare Y. S., Maity T., Das P.* et al. Wireless communication and environment monitoring in underground coal mines-review // IETE technical Review. – 2015. – Vol. 32(2). – P.140–150.
16. *Duarte J., Rodrigues F., Castelo Branco J.* Sensing technology applications in the mining industry – a systematic review // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – Vol. 19(4). – P. 23–34.
17. *Gunther F., Mischo H., Lösch R.* et al. Increased safety in deep mining with iot and autonomous robots // In Mining Goes Digital / Mueller et al. Eds CRC Press. – 2019. – P. 603–611.
18. *Kiziroglou M. E., Boyle D. E., Yeatman E. M.* et al. Opportunities for sensing systems in mining // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2017. – Vol. 13(1). – P. 278–286.
19. *Kyazze W.* A real-time system for monitoring and controlling underground mine environment. Doctoral dissertation. Busitema University, 2020. – 8 P.
20. *Lee M. K., Carbotte S. M., Arnulf A. F.* Detection of magma beneath the northern and southern rift zones of Axial Seamount at the Juan de Fuca Ridge // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2022. – Vol. 23(8). – 16 P.
21. *Liu L., Zhang Z., Cheng Z.* et al. Ultramafic xenoliths from aillikites in the Tarim large igneous province: Implications for Alaskan-type affinity and role of subduction // Lithos. – 2021. – Vol. 380–381. – 16 P.
22. *Menon K. U., Maria D., Thirugnanam H.* Power optimization strategies for wireless sensor networks in coal mines // Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), 2012 Ninth International Conference on IEEE, 2012. – P. 1–5.
23. *Mishra P. K., Bolic M., Yagoub M. C.* et al. RFID technology for tracking and tracing explosives and detonators in mining services applications // Journal of Applied Geophysics. – 2012. – V. 76. – P. 33–43.
24. *Mishra P. K., Kumar M., Kumar S.* et al. Wireless real-time sensing platform using vibrating wire-based geotechnical sensor for underground coal mines // Sensors and Actuators A: Physical. – 2018. – Vol. 269. – P. 212–217.
25. *Misra S., Roy C., Sauter T.* et al. Industrial Internet of Things for safety management applications: A survey // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – P. 83415–83439.
26. *Moridi M. A., Kawamura Y., Sharifzadeh M.* et al. Development of underground mine monitoring and communication system integrated ZigBee and GIS // International Journal of Mining Science and Technology. – 2015. – Vol. 25(5). – P. 811–818.
27. *Mottaeval A., Gordeyeva Y.* Sustainable development of the mining industry in the context of digital transformation // E3S Web of Conferences UESF-2024. – 2024. – Vol. 531. – 11 P.
28. *Obidike I., Nwabueze C., Onwuzuruie K.* Wireless Sensor Network: Characteristics and Architecture // IJCAT – International Journal of Computing and Technology. – 2018. – Vol. 5, iss. 8. – 8 P.
29. *Qi C. C.* Big data management in the mining industry // International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. – 2020. – Vol. 27(2). – P. 131–139.
30. *Ranjan A., Misra P., Dwivedi B.* et al. Studies on propagation characteristics of radio waves for wireless networks in underground coal mines // Wireless Personal Communications. – 2017. – Vol. 97. – P. 2819–2832.
31. *Ranjan A., Sahu H. B., Misra P.* MineSense: sensing the radio signal behavior in metal and non-metal underground mines // Wireless Networks. – 2019. – Vol. 25. – P. 3643–3655.



32. Saxena V. Information Management for the Mining Industry // Infosys be more Bengaluru, India. – 2017. – 8 P. – URL: <https://www.infosys.com/industries/minn> (дата обращения 01.09.2024).

33. Wisiak K., Jakić M., Hartlieb P. Application of ultra-wide band sensors in mining // Sensors. – 2022. – Vol. 23(1). – P. 300.

34. Zare M., Battulwar R., Seamons J. et al. Applications of wireless indoor positioning systems and technologies in underground mining: A review // Mining, Metallurgy & Exploration. – 2021. – Vol. 38(6). – P. 2307–2322.

35. Ziętek B., Banasiewicz A., Zimroz R. et al. A portable environmental data-monitoring system for air hazard evaluation in deep underground mines // Energies. – 2020. – Vol. 13(23). – P. 63–31.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПЛОТНОСТНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В КОМПЛЕКСЕ ГИС INTEGRO

Н. Н. Валеев

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт,  
Москва, [valeev.nn@mail.ru](mailto:valeev.nn@mail.ru)

Построение объемной плотностной модели Енисей-Хатангского регионального прогиба (ЕХРП) нефтегазоносной провинции интегрирует материалы региональной стадии его комплексного геолого-геофизического изучения и решает задачу создания основы для разработки структурно-тектонических моделей в целях повышения эффективности прогноза УВ. При региональных исследованиях плотностные модели должны описывать основные неоднородности земной коры и верхней части мантии на глубины 70–80 км.

Основным инструментом построения модели служит комплекс ГИС INTEGRO, который обладает широким спектром возможностей анализа и моделирования геофизических полей, при этом используя ГИС технологии, обеспечивает свободное оперирование разнородной информацией (карты, разрезы, данные скважин, 1D-2D-3D распределения параметров геофизических моделей, заданные на регулярных и нерегулярных сетках) и осуществляет любые пространственные операции над используемыми данными [3].

Исходными материалами для построения региональной плотностной модели являются:

- разрезы ГСЗ, МОВ-ОГТ, МТЗ (обеспечивают формирование структурного каркаса слоистой модели);
- пространственные распределения гравимагнитных полей, объемные модели избыточных плотностей и намагниченности, глубинно-скоростные модели, сейсмодинамические разрезы, разрезы МТЗ (*определение латеральных неоднородностей в слоях модели*);
- результаты петрофизических исследований (сведения о физических свойствах породных комплексов);
- геологическая и скважинная информация (элементы тектонического деления и привязка горизонтов, определение физических свойств породных комплексов по каротажным данным).

Последовательность процедур построения плотностной 3D модели включает следующие этапы.

1. Построение *структурного каркаса* исследуемой территории.
2. Создание модели распределения плотности (*базовая модель*).
3. Составление модели латеральных плотностных неоднородностей (*модель аномальных объектов*).
4. Оптимизация параметров введенных неоднородностей (*результатирующая плотностная модель*).

*Структурный каркас* (рис. 1) должен включать в себя основные разделы консолидированной земной коры, на которых наблюдается значимое изменение физических свойств (плотность, скорость, электропроводность). Поверхности структурной основы представляются в ГИС INTEGRO в виде набора сеточных данных с одинаковым размером и количеством ячеек для каждой из них.

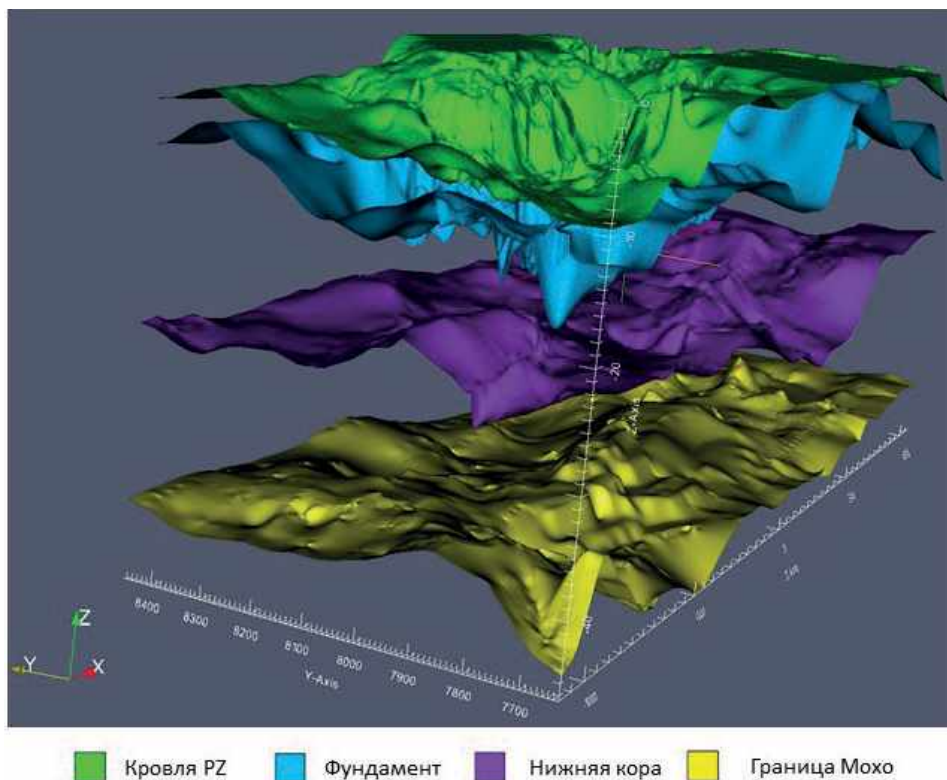


Рис. 1. Структурный каркас 3D слоистой плотностной модели

Базовая плотностная модель (рис. 2) представляет собой трехмерный плотностной куб, в котором каждая ячейка имеет плотностную характеристику. В ГИС INTEGRО можно создать следующие варианты базовой модели: слоистая, градиентно-слоистая, слоисто-блоковая, градиентно-слоисто-блоковая. Подбор варианта осуществляется за счет уточнения геометрии структурных поверхностей и плотностных характеристик слоев.

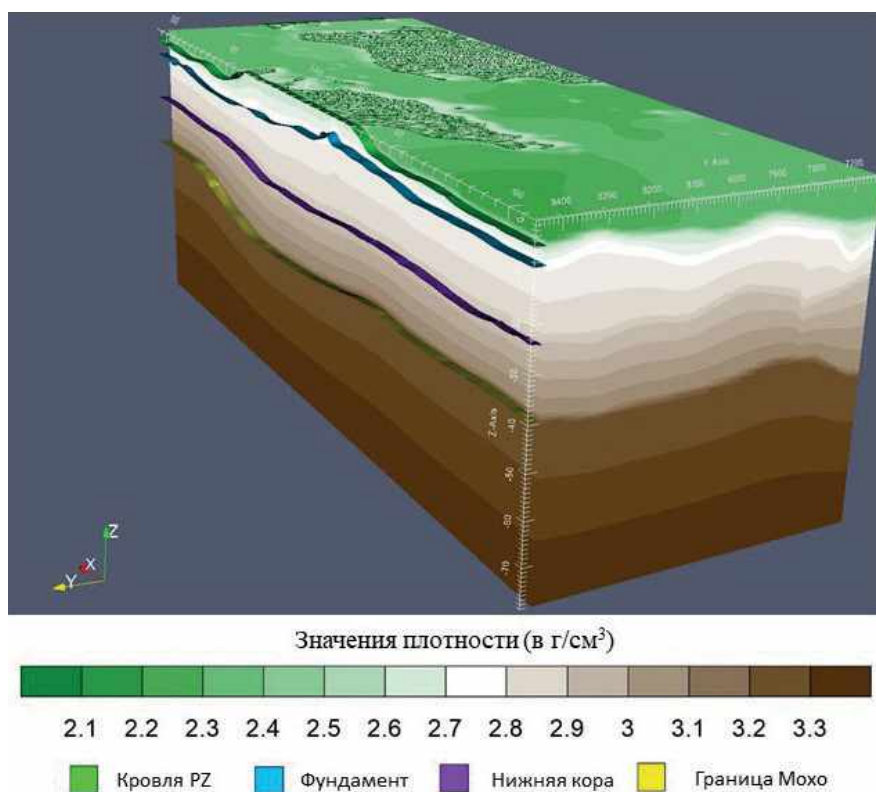


Рис 2. 3D градиентно-слоистая плотностная модель ЕХРП

Критерием для оценки адекватности построений служит достаточно хорошее описание модельным полем морфологии региональной компоненты гравитационного поля (обеспечение достаточной малости их невязки).

Модель аномалообразующих объектов строится для учета латеральных плотностных неоднородностей, связанных с особенностями глубинного строения изучаемого района работ, а также для компенсации недостатков структурной основы плотностной модели. Модель объектов представлена набором эллипсоидов, ориентированных в 3D пространстве и имеющих один из вариантов задания плотностной характеристики: абсолютные и относительные (увеличение/уменьшение значения плотности базовой плотностной модели).

Уточнение распределения латеральных плотностных неоднородностей проводится по совокупности априорных данных (анализ комплексных геофизических разрезов, скважинных данных и т. п. для пространственной локализации неоднородностей) и с использованием 3D модели избыточной плотности (рис. 3). Данная модель строится путем подбора параметров и расчёта спектральной инверсии гравитационного поля от невязки между наблюдаемым полем и гравитационным эффектом от построенной базовой плотностной модели [1]. Параметры спектральной инверсии предварительно определяются по геолого-геофизическим моделям профилей ГСЗ, проходящим по территории исследования или расположенным в непосредственной близости к ней [4].

Результирующая плотностная 3D (рис. 4) модель ЕХРП получена сложением базовой модели и модели объектов. Приведение гравитационного эффекта от результирующей модели к наблюдаемому полю осуществляется дополнительным подбором модели объектов с помощью монтажного метода [2]. При этом итерационном процессе модель объектов претерпевает существенные изменения. Монтажный метод, реализованный в ГИС INTEGR0, позволяет ограничить распространение аномалообразующих объектов определенных классов по глубине как сверху, так и снизу, используя при этом поверхности структурного каркаса.

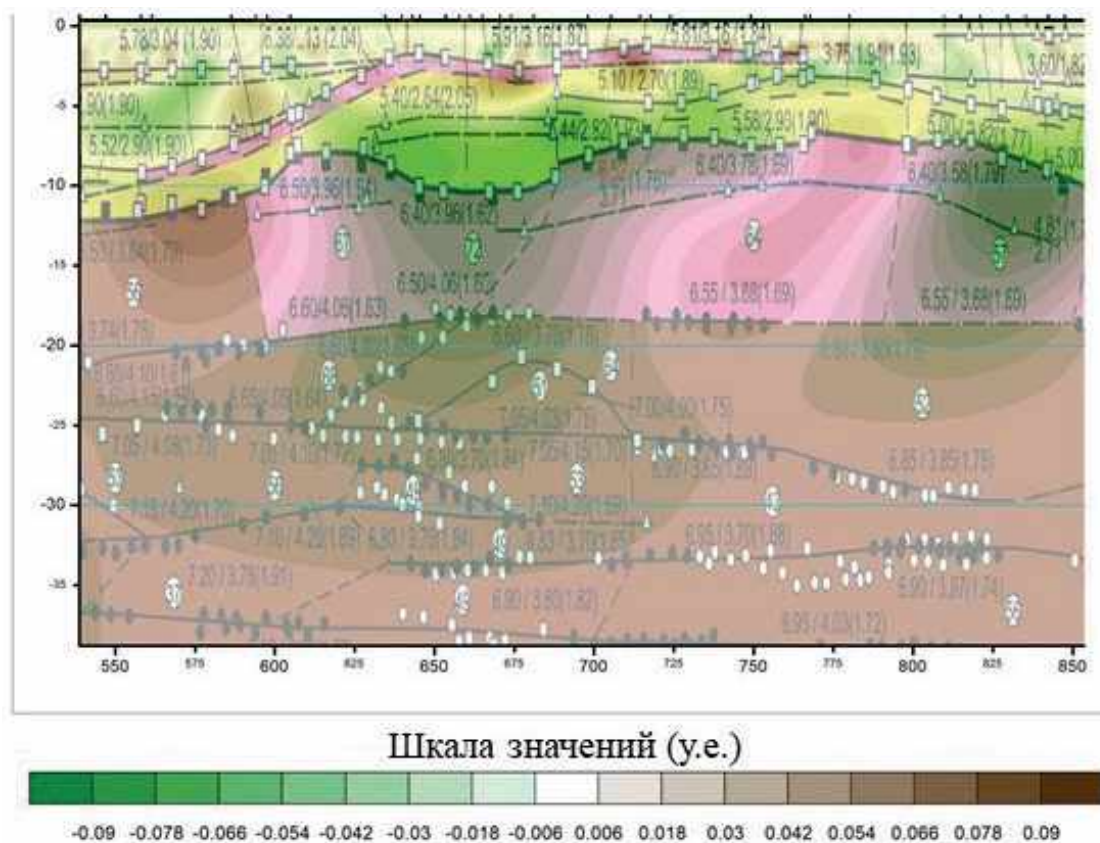


Рис. 3. Сечение модели избыточной плотности по линии профиля ГСЗ «Битум Тенгиз – Лаптевых»

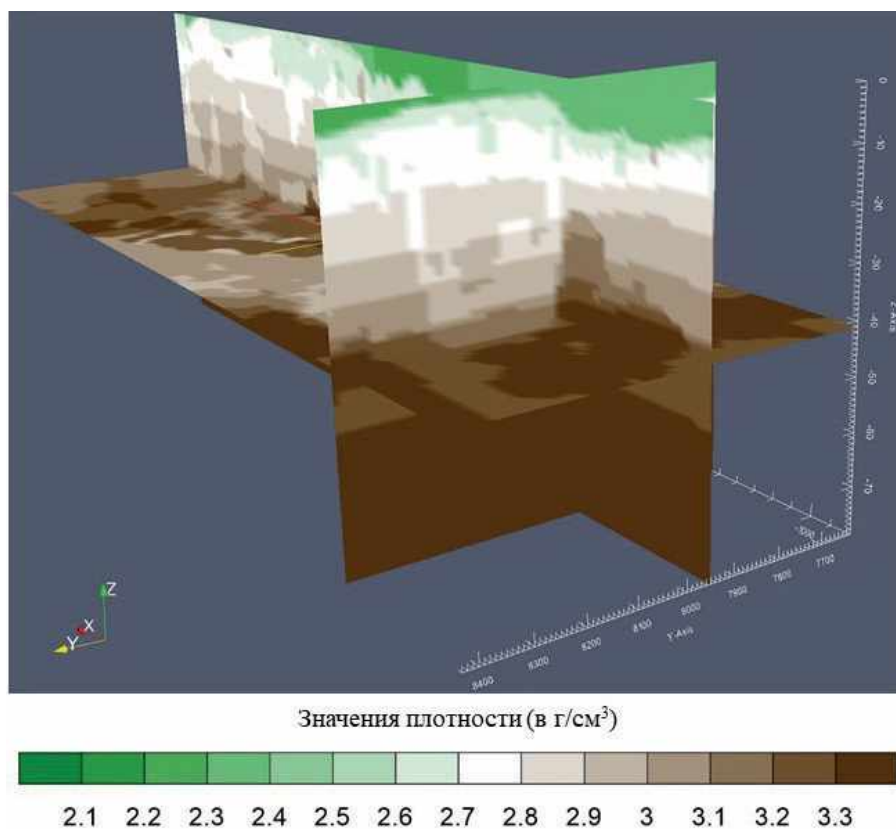


Рис. 4. Сечение результирующей плотностной 3D модели ЕХРП

**Выводы.** Программный комплекс ГИС INTEGRО обеспечивает полный технологический цикл построения плотностной 3D модели геологической среды, отвечающей имеющейся геолого-геофизической информации о глубинном строении территории.

Полученная плотностная модель ЕХРП согласована с широкой совокупностью данных других геофизических методов, выполненных по итогам региональной стадии изучения прогиба. Этим определяется ее релевантность и, следовательно, возможность использования в качестве опоры для дальнейшего исследования этой нефтегазоносной области в прогнозных целях.

#### Литература

1. Мицын С. В. О численной реализации спектрального метода решения обратной задачи гравиразведки // Геоинформатика. – 2018. – № 3. – С. 89–97.
2. Мицын С. В., Большаков Е. М. Монтажный метод в ГИС INTEGRО и его использование для решения обратной гравитационной задачи // Геоинформатика. – 2021. – № 3. – С. 36–46.
3. Спиридонов В. А., Пиманова Н. Н., Финкельштейн М. Я. Технология построения плотностной 3D-модели земной коры в ГИС INTEGRО // Геоинформатика. – 2020. – № 4. – С. 38–51.
4. Спиридонов В. А., Пиманова Н. Н. Методические и технологические аспекты исключения гравитационного эффекта нижней части земной коры при изучении осадочного чехла нефтегазоносных территорий // Геоинформатика. – 2020. – № 3. – С. 38–45.

# НЕЙРОСЕТЕВОЕ КАРТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОТЕКТОВ ПО КОМПЛЕКСНЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

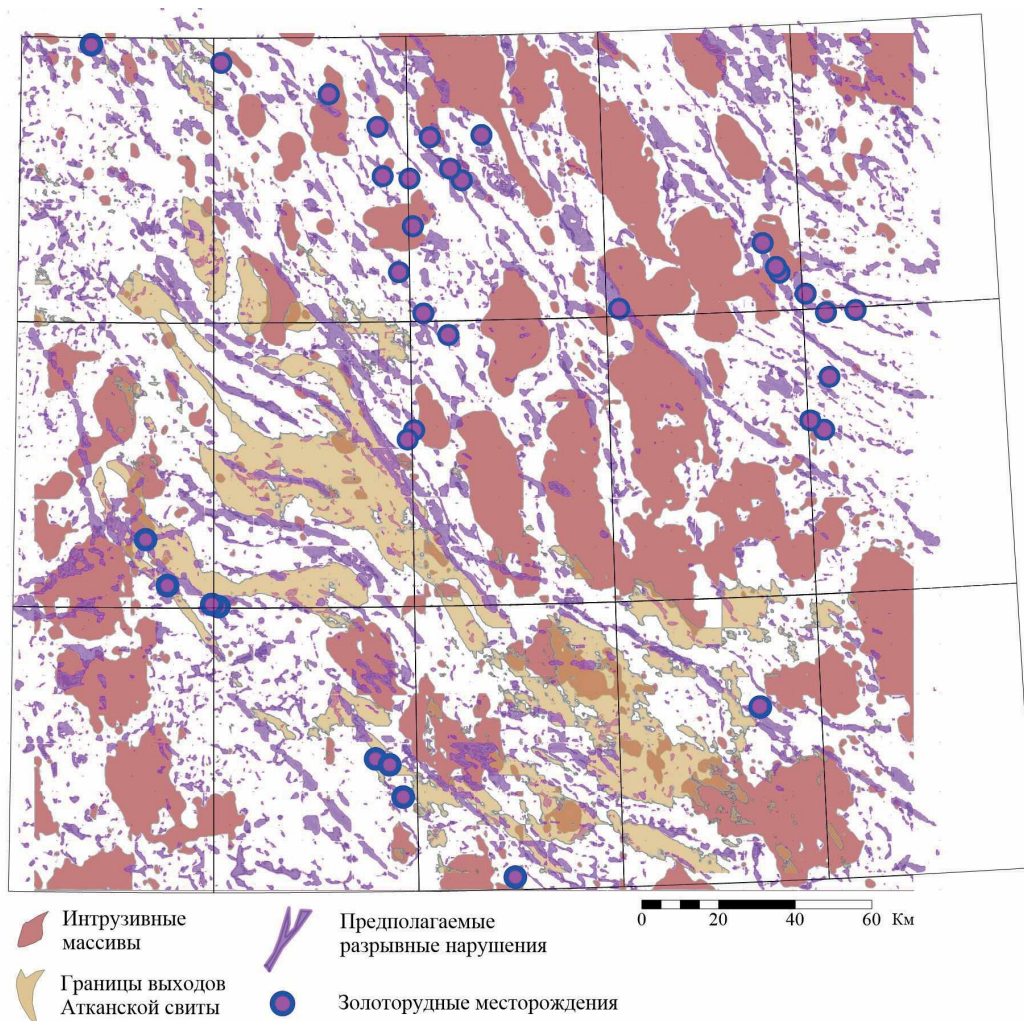
А. В. Карамышев

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, Andrey\_Karamyshev@karpinskyinstitute.ru*

В последние годы методы машинного обучения, в частности глубокого обучения, получают всё более широкое применение в геологических науках. Одной из перспективных задач является автоматическое распознавание элементов геологического строения и локализация рудных объектов (рисунок). Глубокие нейронные сети позволяют выявлять ключевые закономерности в сложных многомерных данных, что может быть полезно для прогнозирования месторождений полезных ископаемых.

В данной работе рассматривается использование методов глубокого обучения для задач автоматизированного картирования факторов, контролирующих крупнообъемное золотое оруденение, в Центрально-Колымском золоторудном регионе.

Основное преимущество глубоких нейронных сетей заключается в их способности обрабатывать большие массивы комплексных данных, таких как геофизические поля, спутниковые снимки и геохимические карты, с обобщением информации и извлечением высокоуровневых признаков вместо попиксельного «запоминания» обучающих примеров. Это позволяет применять их для решения задач картирования рудных объектов и построения прогнозных моделей.



**Сводная карта распознанных факторов локализации крупнообъемного золотого оруденения, выделенных на основе априорной ФГМ Омчакского рудного узла**

Из-за ограничений нейросетевых методов предлагается использовать полуавтоматический подход, который заключается в автоматизированном выделении отдельных элементов геологического строения, связанных с оруденением, а не уникального их сочетания, отвечающего локации предполагаемого рудного объекта. Экспертный анализ результатов распознавания позволяет вручную выделять конкретные участки, что решает проблему нехватки обучающих данных.

Применение глубокого обучения для картирования металлотектов включает несколько этапов.

– Создание физико-геологической модели. Включает разработку моделей геологического, петрофизического и геофизического строения целевого объекта.

– Подготовка данных. Комплексные геологические данные (геофизические поля, геохимические карты, спутниковые снимки) собираются и подготавливаются для обучения нейронных сетей.

– Обучение моделей. Сначала создаются и обучаются нейронные сети для выделения рудоконтролирующих факторов (например, литологический контроль, магматизм и разрывные нарушения).

– Прогнозирование. На основе обученных моделей производится автоматизированное картирование геологических факторов, контролирующих оруденение, и выделение участков, потенциально перспективных для поиска рудных объектов.

– Верификация. Оценка качества построенных моделей выполняется на тестовых данных. Также при необходимости может быть проведено трёхмерное моделирование перспективных участков для уточнения результатов.

В качестве примера была рассмотрена Аян-Юряхская зона Центрально-Колымского золоторудного региона. База данных включала геофизические и геохимические материалы, а также геологические карты. Основой для прогнозирования послужила физико-геологическая модель Омчакского рудного узла, одного из типичных золоторудных объектов региона.

Обучение нейронных сетей проводилось на базе библиотеки TensorFlow для Python с использованием архитектуры U-Net для сегментации геологических объектов. Важным аспектом было использование аугментации данных для увеличения обучающей выборки и повышения устойчивости моделей.

Модели были успешно обучены на распознавание нескольких ключевых факторов оруденения, включая интрузивные массивы, выходы рудовмещающих толщ и разрывные нарушения (рисунок). Тестирование моделей показало удовлетворительное совпадение прогнозируемых и фактических данных, что подтверждает возможность использования нейросетевых решений для картирования металлотектов.

Однако, несмотря на положительные результаты, индикаторы качества моделей (такие как Dice и IoU) остаются умеренными (77.8, 79.2 и 73.3 для трех вышеуказанных типов меток соответственно), что связано с неоднородностью данных и субъективностью разметки целевых объектов на картах.

Использование алгоритмов машинного распознавания образов для решения задач прогноза с точки зрения верифицируемости и практической применимости на данном этапе представляется наиболее перспективным в рамках комплексного подхода к интерпретации геолого-геофизических данных на основе физико-геологического моделирования. Полуавтоматический подход, сочетающий нейросетевые решения с экспертной интерпретацией, позволяет преодолеть проблемы, связанные с нехваткой обучающих данных и сложностью распознавания рудных объектов.

Подготовленные нейросетевые модели являются достаточно универсальными, т. к. обучены на распознавание не уникальных меток, характерных только для определенной территории, а на выделение повсеместно распространенных типов геологических объектов и структур, образы которых в геолого-геофизических данных от региона к региону отличаются лишь в отдельных аспектах.

Для успешного применения глубокого обучения в геологии необходимо уделять особое внимание качественной предобработке данных и выбору релевантных признаков. Важным также является использование методов аугментации данных и доменной адаптации для переноса моделей на другие регионы.

### Литература

1. Карамышев А. В. Автоматизированное картирование металлотектов с использованием методов глубокого машинного обучения // Отечественная геология. – 2024. – № 4. – С. 19–34.
2. Карамышев А. В., Фёдорова К. С., Тарасов А. В. Прогноз скрытого золотого оруденения в пределах Центрально-Колымского района по комплексу геолого-геофизических признаков методом распознавания // Руды и металлы. – 2020. – № 2. – С. 10–24.
3. Bonham-Carter G. F., Agterberg F. P., Wright D. F. Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia // Digital Geologic and Geographic Information Systems. – 1989. – Vol. 10. – P. 15–23.
4. Brown W. M., Gedeon T. D., Groves D. I. Use of Noise to Augment Training Data: A Neural Network Method of Mineral–Potential Mapping in Regions of Limited Known Deposit Examples // Natural Resources Research. – 2003. – Vol. 12. – P. 141–152.
5. Cedou M., Gloaguen E., Blouin M. et al. Preliminary geological mapping with convolution neural network using statistical data augmentation on a 3D model // Computers & Geosciences. – 2022. – Vol. 167.
6. Dramsch J. S. 70 years of machine learning in geoscience in review // Advances in geophysics. – 2020. – Vol. 61. – P. 1–55.
7. Granek J. Application of machine learning algorithms to mineral prospectivity mapping // PhD diss. – University of British Columbia, 2016.
8. Li S., Chen J., Xiang J. Applications of deep convolutional neural networks in prospecting prediction based on two-dimensional geological big data // Neural Comput & Applic. – 2019. – Vol. 32. – P. 2037–2053.
9. Maas A. L., Hannun A. Y., Ng A. Y. Rectifier nonlinearities improve neural network acoustic models // Proc. Icml. – 2013. – Vol. 30, no. 1. – P. 3.
10. McMillan M., Fohring J., Haber E. et al. Orogenic gold prospectivity mapping using machine learning // ASEG Extended Abstracts. – 2019. – Vol. 1. – P. 1–4.
11. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention. – 2015. – P. 234–241.
12. Sun T., Chen F., Zhong L. et al. GIS-based mineral prospectivity mapping using machine learning methods: A case study from Tongling ore district, eastern China // Ore Geology Reviews. – 2019. – Vol. 109. – P. 26–49.
13. Wan L., Zeiler M., Zhang S. et al. Regularization of neural networks using dropconnect // International conference on machine learning. – 2013. – P. 1058–1066.

**АРХИВ ВИМСА ПО КОЛЛЕКЦИЯМ  
«БЕРИЛЛИЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОССИИ И СТРАН СНГ»,  
ОЦИФРОВАННЫЙ И. И. КУПРИЯНОВОЙ  
(МЕТОДОЛОГИЯ «ВКАЧИВАНИЯ» ИНФОРМАЦИИ  
В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ (СУБД))**

И. И. Куприянова<sup>1</sup>, Л. А. Кувшинова<sup>2</sup>, К. А. Кувшинова<sup>2</sup>, Н. И. Клименцова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского, Москва

<sup>2</sup>Российское минералогическое общество, Санкт-Петербург, kaelmo@yandex.ru

Начиная с 1956 г., в ВИМСе группой сотрудников под руководством А. И. Гинзбурга и Н. П. Заболотной проводились широкомасштабные исследования бериллиевых месторождений и рудопроявлений по всей территории Советского Союза. В результате были собраны обширные коллекции, характеризующие вещественный состав руд, околорудные метасоматиты, вмещающие породы и магматические комплексы месторождений всех генетических и промышленных типов, обнаруженных на территории Евразии.

Коллекции представлены двумя неравнозначными по объёму частями: 1) компактные коллекции в литотеке, дающие общее представление о месторождении, 2) рабочие коллекции, включающие каменный материал, который характеризует руды, минералы и породы месторождений во всём их многообразии по простиранию и в вертикальном разрезе и предоставляют возможность дальнейших углублённых исследований.

Коллекции являются уникальными и, как правило, невозполнимыми, так как значительная часть каменного материала отобрана по ныне отработанным горизонтам и блокам или собрана в процессе дорогостоящих геологоразведочных работ, которые не могут быть повторены.

В настоящее время есть монография [6], в которой обобщен опыт многолетнего изучения месторождений бериллия на территории России и стран СНГ и оцифрован архивный материал. Оцифрованный архив представляет собой большой объем информации (около 700 Мб) и состоит из 39 папок, в которых содержится 463 файла. Был выполнен огромный объем работы на высокопрофессиональном уровне по сбору сопровождающей коллекции документации (полевых книжек, журналов образцов, графических материалов), по установлению места хранения материальной части коллекции (хранилища, шкафы, лотки, коробки) и по сбору результатов минералого-геохимических и физических методов исследования.

Целью постановки работ по созданию банка данных служит сохранение накопленной за многие годы информации, в современной, удобной для использования форме.

Практически оцифрованный архив представляет собой профессионально подготовленный материал для цифровой трансформации, который осуществлялся параллельно в тесном контакте специалиста в области изучения минералогии и IT-специалиста, что отражено в печатных работах [1–5]. Однако, ввиду стихийной оцифровки материала, проводимой, как правило, для решения локальных задач, архив, оцифрованный в различных приложениях (\*.txt, \*.doc, \*.xls, \*.dbf, и т. д.) в табличной, таксонной или описательной форме, носит «лоскутный» характер. В данной работе рассмотрена проблема трансформации «лоскутного» оцифрованного архива в электронный фонд пользования созданием на его основе поисковой системы.

### Литература

1. Кувшинова Л. А., Кувшинова К. А., Курпянова И. И. и др. Инструментарий информационной технологии для сохранения минерального разнообразия // Софийская инициатива «Сохранение минерального разнообразия». Доклады. – София, 2013. – С. 127–133.
2. Кувшинова Л. А., Кувшинова К. А., Клименцова Н. И. Макет реализации поисковой системы для научной информации // Софийская инициатива «Сохранение минерального разнообразия» Доклады. – София, 2015. – С. 79–88.
3. Кувшинова Л. А., Кувшинова К. А., Клименцова Н. И. Концепция поисковой системы для научной информации // Софийская инициатива «Сохранение минерального разнообразия» Доклады. – София, 2015. – С. 89–92.
4. Кувшинова Л. А., Кувшинова К. А., Курпянова И. И. и др. Модель фактографической поисковой системы для коллекционных и архивных материалов в эпоху цифровизации // Софийская инициатива «Сохранение минерального разнообразия» Доклады. – София, 2017. – С. 87–92.
5. Кувшинова Л. А., Кувшинова К. А., Клименцова Н. И. Концепция построения базы знаний из текстов произвольного характера // Софийская инициатива «Сохранение минерального разнообразия» Доклады. – София, 2019. – С. 90–97.
6. Курпянова И. И., Шпанов Е. П. Бериллиевые месторождения России. – М. : ГЕОС, 2011. – 353 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ МИНЕРАЛ С7 ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ УДОКАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А. Е. Мусатов

ООО «Удоканская медь», пос. Удокан, alexejmusatov@yandex.ru

Удоканское стратиформное месторождение сложено осадочно-метаморфическими комплексами песчаников с широко развитым прожилково-вкрапленным оруденением медистых минералов [5]. Удоканское месторождение является крупнейшим месторождением меди в России [2]. Для освоения Удоканского месторождения реализуется проект по запуску и строительству горно-металлургического комбината. Объем производства меди первой очереди комбината составит 135 тыс. т/год. Лабораторным изучением технологических процессов фабрики в компании «Удоканская медь» занимается отдел технологических исследований, в рамках которого реализовано изучение вещества методами прикладной технологической



минералогии. Задачами технологической минералогии являются изучение минеральных особенностей геолого-технологических проб и продуктов обогатительной фабрики с целью разработки и коррекции схем обогащения полезных ископаемых [1].

В пределах Удоканского месторождения распространены две главные группы медьсодержащих минералов: сульфиды и окисленные минералы [3]. Сульфиды меди представлены преимущественно халькозином и борнитом, в меньшей степени халькопиритом; окисленные минералы меди представлены преимущественно брошантитом, в меньшей степени малахитом, азуритом и антлеритом. Основными минералами меди являются халькозин, борнит и брошантит.

Чаще всего в рамках технологической минералогии изучаются шламовые пробы питания флотации (исходная проба, измельчённая до необходимых размеров минеральных частиц) и пробы хвостов (отходы обогащения) флотации. Для изучения минералого-технологических характеристик в пробах используется оптико-геометрический метод изучения минерального состава соотношений минеральных сростков при помощи оптического микроскопа в отражённом свете [1]. В основном при решении задач по технологической минералогии изучаются рудные минералы – сульфиды, самородные металлы, оксиды железа и другие минералы, которые хорошо идентифицируются в отражённом свете. В рудах Удоканского месторождения брошантит ( $Cu_4SO_4(OH)_6$ ) меди является ценным минералом, как и сульфиды меди. Брошантит является слабоотражающим сульфатным минералом с показателями отражения, близкими к показателям отражения кварца и других породообразующих нерудных минералов, вследствие чего его оперативное определение бывает затруднено [4]. При изучении проб для корректного анализа необходимо определять следующие минералого-технологические параметры: массовую долю основных рудных минералов, долю свободной поверхности частиц, тип и массовую долю сростков каждого типа, размер частиц и ряд других параметров. Идентификация минералов, изучение минерального состава и расчёт параметров может занимать существенное количество времени. Для ускорения выполнения анализа используется комплекс оборудования и программного обеспечения. Современное программное обеспечение (ПО) на базе «Минерал С7» российской разработки и производства (оптический микроскоп, камера высокого разрешения, механизация оборудования и ПО) позволяет сократить время на выполнение минералогического анализа и при наборе базы данных по минералам перейти к определению минеральных фаз при помощи цветовых характеристик. Использование ПО

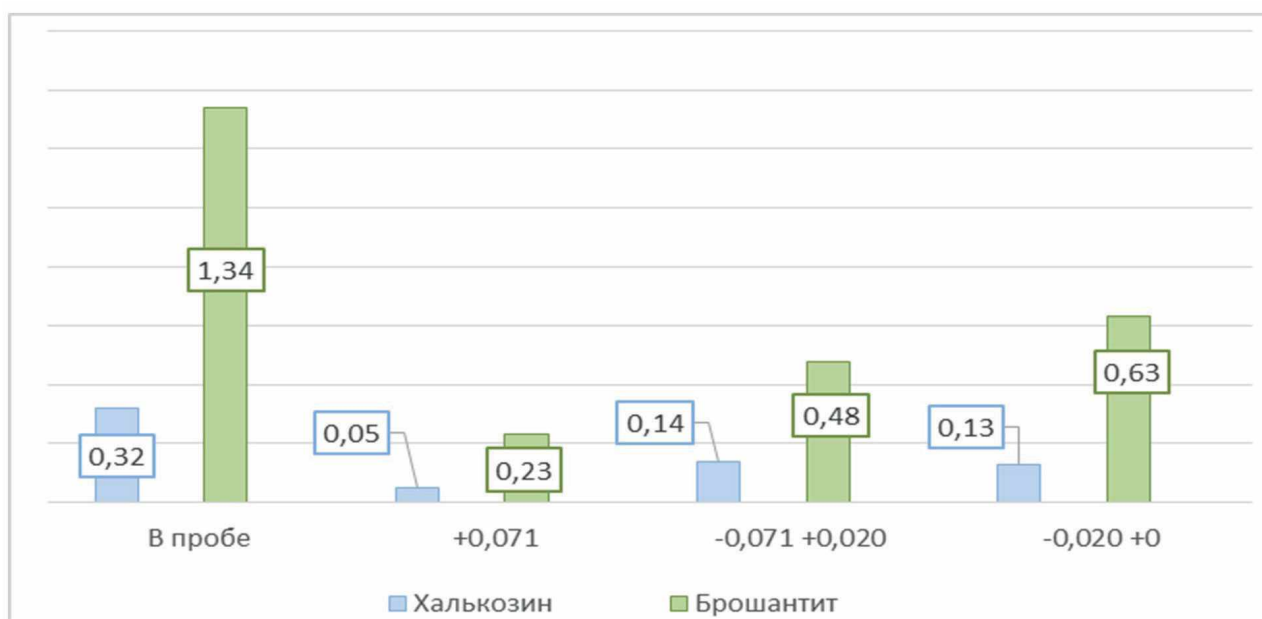


Рис. 1. Массовая доля (%) основных минералов меди в целом в пробе питания и в классах крупности с учётом выхода класса

Содержания меди в пробах питания флотации и хвостах флотации и сквозное извлечение

	Cu <sub>общ.</sub> %	Cu <sub>ок.</sub> %	Сквозное извлечение
Питание	0,80	0,57	68 %
Хвосты	0,32	<b>0,28</b>	

подразумевает фотографирование поверхности образцов и её обработки с целью оконтуривания частиц минералов. Расчёт требуемых минералого-технологических параметров происходит автоматически по встроенным алгоритмам программы. При выполнении требований по заранее установленной шлифовально-полировальной схеме и настройках яркости, экспозиции и цветовой гаммы возможно реализовать оперативное определение брошантита по заранее определенным цветовым характеристикам. Важным аспектом является оконтуривание нерудных минералов с низкими показателями отражения, содержания которых в пробе может быть выше 90 %. Для оконтуривания нерудных минералов была обучена нейросеть. Для обучения нейросети были проведены тестовые испытания по изготовлению образцов методом холодной заливки, отработки шлифовально-полировальной схемы, подобраны параметры освещения микроскопа и выполнена выборка нерудных минералов для обучения. Сам модуль нейросети реализован через ПО «Минерал С7».

Примером решения задачи по корректировке схемы обогащения с использованием комплекса «Минерал С7» могут служить результаты исследования лабораторной пробы геолого-технологического картирования – пробы питания флотации и хвостов флотации данной пробы. Результаты исследования проб питания флотации (3-го класса крупности) и хвостов флотации (3-го класса крупности) были получены следующие.

Минеральный состав исходной пробы питания флотации характеризуется преобладаниями содержаний брошантита над сульфидами меди (рис. 1). Борнит и халькопирит встречаются в единичных зёрнах. В пробе хвостов содержания брошантита также преобладают над содержаниями халькозина.

Химический состав проб и сквозное извлечение даны в таблице.

В пробе питания преобладают свободные частицы (доля свободной поверхности >95 %) минералов меди и сростки минералов меди с нерудными минералами (доля свободной поверхности 25–95 %), в пробе хвостов преобладают закрытые включения халькозина, сростки брошантита и свободные частицы минералов меди (рис. 2).

Размер частиц халькозина в виде закрытых включений в пробе хвостов – 0–25 мкм, размер свободных частиц халькозина – 0–10 мкм. Размер сростков брошантита – от 1 до 100 мкм.

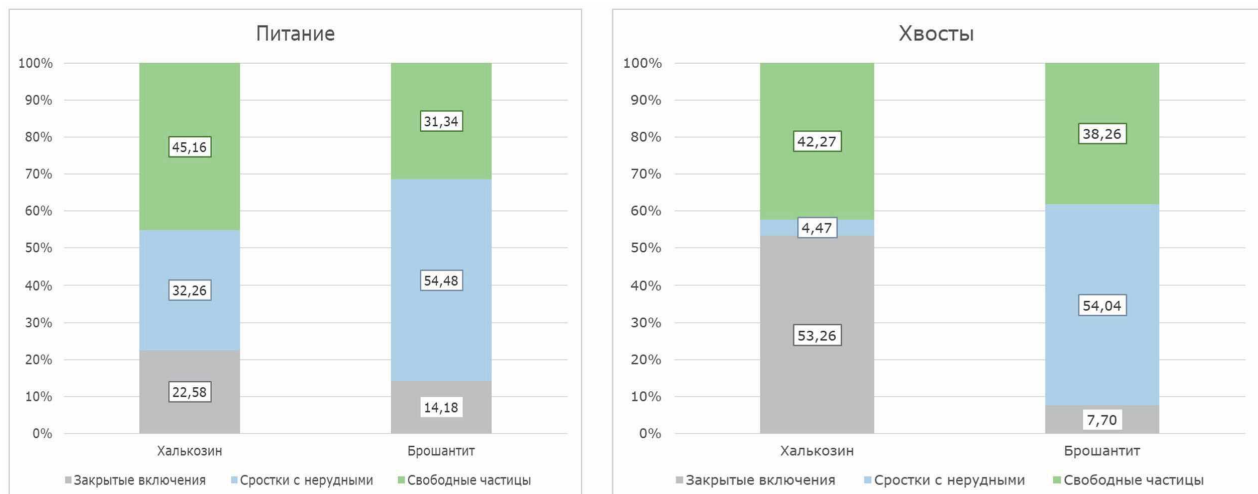


Рис. 2. Соотношения типов сростков в пробах питания и хвостов

Наиболее распространены сростки брошантита в диапазоне размеров от 10–25 до 40–71 мкм. В пробе питания, как и в пробе хвостов, преобладающий размер частиц брошантита в виде сростков – 10–25 мкм и 40–71 мкм. По полученным данным, основные потери меди связаны со сростками брошантита и со свободными неотфлотированными частицами минералов меди, в меньшей степени с закрытыми включениями частиц халькозина.

Для коррекции схемы обогащения с целью повышения показателя сквозного извлечения и уменьшения содержания меди в хвостах предлагается увеличить время измельчения пробы и увеличить объём реагентки для флотации. Благодаря увеличению времени измельчения доля сростков брошантита и закрытых включений халькозина уменьшится и, следовательно, увеличится доля свободной поверхности минералов меди, что улучшит флотацию частиц минералов меди. В пробе хвостов присутствуют неотфлотированные свободные частицы минералов меди, чтобы их отфлотировать, требуется увеличить объём реагентки для флотации.

Использование комплекса «Минерал С7» позволяет оперативно анализировать данные и получать статистически надёжные результаты в рамках технологической минералогии. В отличие от автоматизированных петрографических анализаторов на базе сканирующих электронных микроскопов по типу QEMSCAN, работа с комплексом «Минерал С7» требует несколько более простого в эксплуатации оптического микроскопа, по сравнению с электронным сканирующим микроскопом и не требует частого сервисного обслуживания, что в условиях производственных объектов реализовать проще, чем работу с комплексами по типу QEMSCAN.

#### Литература

1. *Изоитко В. М.* Технологическая минералогия и оценка руд. – СПб. : Наука, 1997. – 532 с.
2. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2022 года. Выпуск 11. Медь. 2022.
3. *Наркелюн Л. Ф., Трубочёв А. И., Салихов В. С.* и др. Окисленные руды Удокана. – Новосибирск : Наука, 1987. – 102 с.
4. *Родыгина В. Г.* Начала минералогии: Учебное пособие. – Томск : Изд-во Томского университета, 1990. – 175 с.
5. *Gongalsky B., Krivolutsкая N.* World-Class Mineral Deposits of Northeastern Transbaikalia, Siberia, Russia // Modern Approaches in Solid Earth Sciences: Springer Cham. – 2019. – 321 p.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ GOLDEN SOFTWARE SURFER В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А. И. Павловский, Е. Ю. Нарыжнова, Е. В. Бильдюк

*Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь, viv@mail.ru*

На территории Республики Беларусь сосредоточены значительные запасы калийных и каменной солей, доломита, мела и мергельно-меловых пород, сырья для производства строительных материалов, торфа, сапропелей, пресных и минеральных подземных вод и др. На базе разведанных месторождений полезных ископаемых созданы предприятия и производственные мощности по добыче торфа, нефти, каменной соли, производству калийных и доломитовых удобрений, различных строительных материалов, пресных и минеральных подземных вод. Разведаны запасы полезных ископаемых, используемых для производства цемента: семь месторождений мела с запасами 687 млн т, одно месторождение мергеля с запасами 549 млн т, 14 месторождений глины с запасами 167 млн т, одно месторождение трепела с запасами 30,5 млн т, девять месторождений песка и супеси с запасами 29 млн т. Разведано 210 месторождений песчано-гравийно-валунного материала с общими запасами более 771 млн м<sup>3</sup>, три месторождения строительного камня с общими запасами около 646 млн м<sup>3</sup>, шесть месторождений тугоплавких глин с общими запасами более 52 млн т, 220 месторождений глинистых пород, используемых для

производства грубой керамики, с общими запасами более 226 млн м<sup>3</sup>, пять месторождений песка, используемого для производства стекла с промышленными запасами 59,5 млн т, одно месторождение базальтов и туфов с запасами 83,2 млн т базальтов и 80,9 млн т туфов. Ведущее место среди промышленных предприятий занимают ОАО «Беларуськалий», РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», ОАО «Белорусский цементный завод», ОАО «Красносельскстройматериалы», РУПП «Гранит», ОАО «Доломит» и др. [4].

Геоинформационные системы – общее название систем, назначением которых является сбор, хранение и анализ данных пространственного характера, а также их графическая визуализация. ГИС относится к компьютерным технологиям нового поколения. Гибкость и открытость ГИС-технологий позволяют создавать системы для поддержки принятия решений [1].

Планирование горных работ связано со значительным объемом вычислений площадей и объемов горных работ, выполнение которых традиционными методами трудоемко и неэффективно. Для решения вопросов планирования горных работ в современных геоинформационных системах создаются геологические модели, для чего используют информацию о залегании месторождений, получаемую при бурении разведочных выработок [1].

Геоинформационная система Golden Software Surfer была основана в США в 1983 г. и первой выпустила на рынок приложения для трехмерного отображения поверхностей. Несмотря на большое разнообразие современных программ и систем, Golden Software Surfer остается весьма популярной и часто используемой на практике геологами и горными инженерами. Свою популярность Golden Software Surfer приобрела за простоту использования, дружелюбный интерфейс и большой перечень решаемых задач. Созданные карты отличаются детальностью, хорошей цветовой и теневой интерпретацией.

В качестве примера рассмотрим построение трехмерной модели песка «Клыповщина» и создание каркасной модели участка Коммунары Западные месторождения мергеля Коммунарское.

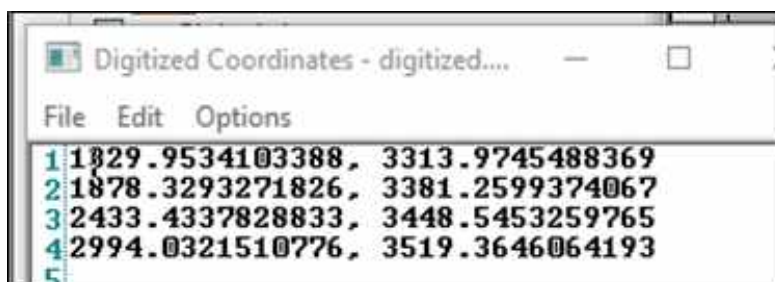


Рис. 1. Процесс оцифровки месторождения

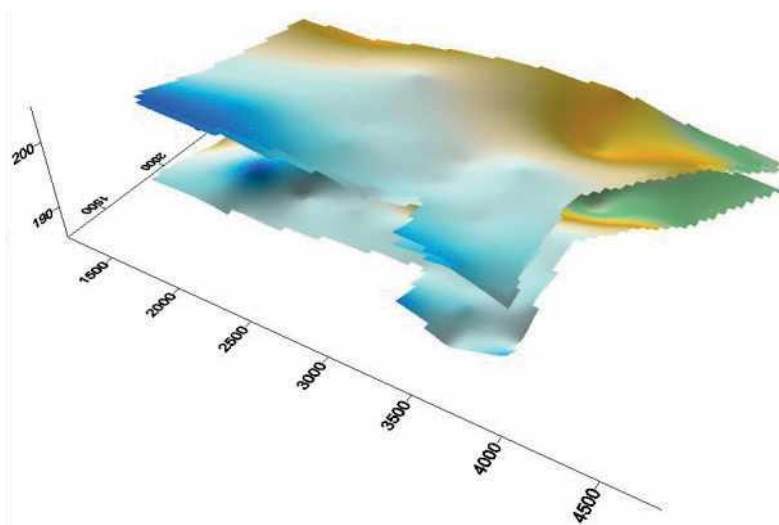


Рис. 2. Трехмерная модель месторождения песка Клыповщина

Месторождение песка Клыповщина расположено в Дзержинском районе Минской области, восточнее дер. Клыповщина. В геологическом строении осадочного чехла района месторождения принимают участие моренные отложения сожского подгоризонта припятского горизонта и флювиогляциальные отложения времени отступления припятского (сожского) ледника. Флювиогляциальные отложения времени отступления припятского (сожского) ледника распространены на месторождении повсеместно. Залегают они на моренных отложениях, перекрываются современными аллювиальными, озерными и болотными отложениями. В пределах участка детальной разведки представлены песками различного гранулометрического состава, гравелистыми песками и супесями.

В геологическом строении участка Коммунары Западные принимают участие (сверху вниз) четвертичные, палеоген-неогеновые и верхнемеловые отложения. Четвертичные и палеоген-неогеновые отложения составляют вскрышу, а верхнемеловые – полезную толщу. Четвертичные отложения в пределах участков имеют повсеместное распространение и представлены ледниковыми и флювиогляциальными песками и плотными бурыми супесями. Палеоген-неогеновые отложения представлены песчаной толщей, выполняющей отрицательные денудационные формы и рытвины в меловом рельефе. Мощность вскрыши колеблется от 3,0 до 18,2 м, составляя в среднем 5,13 м. Полезная толща представлена верхнемеловыми отложениями, которые залегают под вскрышными породами и образуют пластообразную залежь мергельно-меловых пород. По качественному составу они разделены на высоко- и низкокарбонатные «высокие» и «низкие» мергели. К «высоким» отнесены мел и мергель с содержанием CaO 45 % и выше; к «низким» – мергель и мергель глинистый с содержанием CaO – 15–44 %.

Создание геологической модели начинается с оцифровки месторождения. Для этого в Golden Software Surfer существует инструмент Digitize (рис. 1). Далее создаются сеточные файлы, которые являются основой для создания двух- и трехмерных карт месторождения. Во время создания выбирается математический метод, который необходим для нахождения значений переменной  $z$  в каждом узле сети, расставляются лимиты значения сети и определяются координатные значения для построения [2].

В результате описанных выше действий была смоделирована трехмерная карта месторождения песка Клыповщина (рис. 2) и каркасная карта участка Коммунары Западные месторождения Коммунарское (рис. 3).

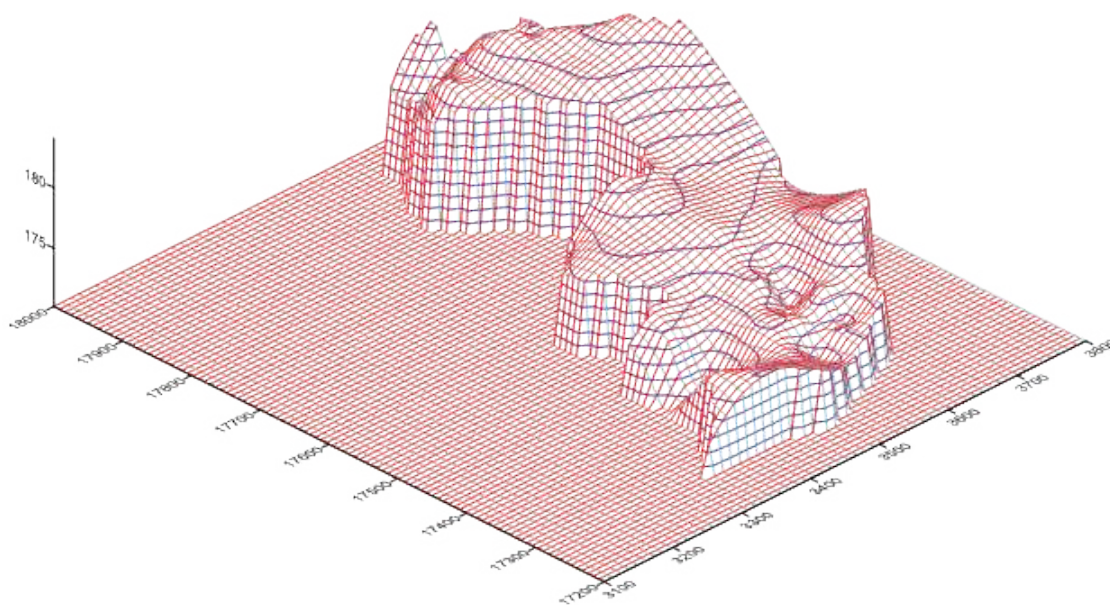


Рис. 3. Каркасная карта участка Коммунары Западные месторождения Коммунарское

Применение современных компьютерных технологий, базирующихся на геоинформационных системах, в горном деле и в геологии в настоящее время весьма актуально. Их использование позволяет проводить в автоматическом режиме многие операции и процессы, связанные с подсчетом запасов полезного ископаемого на месторождении, моделированием геологического строения продуктивных пластов, а также планированием мероприятий по охране недр.

### Литература

1. Оника С. Г., Нарыжнова Е. Ю., Бильдюк Е. В. Геоинформационные системы в горном деле : электронный учебно-методический комплекс. – Минск : БНТУ, 2023. – URL : <https://rep.bntu.by/handle/data/130179> (дата обращения: 20.09.2024).
2. Петин А. Н., Васильев П. В. Геоинформатика в рациональном недропользовании. – Белгород : Изд-во НИУ БелГУ, 2011. – 264 с.
3. Полезные ископаемые Беларуси : к 75-летию БелНИГРИ / П. З. Хомич [и др.] ; редкол.: П. З. Хомич, С. П. Гудак, А. М. Синичка (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2002. – 528 с.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОГРАНИЧЕННОГО КОЛИЧЕСТВА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

О. Б. Пономарев<sup>1</sup>, И. И. Никулин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «ПроТех Инжиниринг», Санкт-Петербург, [ponomarevgeo@rambler.ru](mailto:ponomarevgeo@rambler.ru)

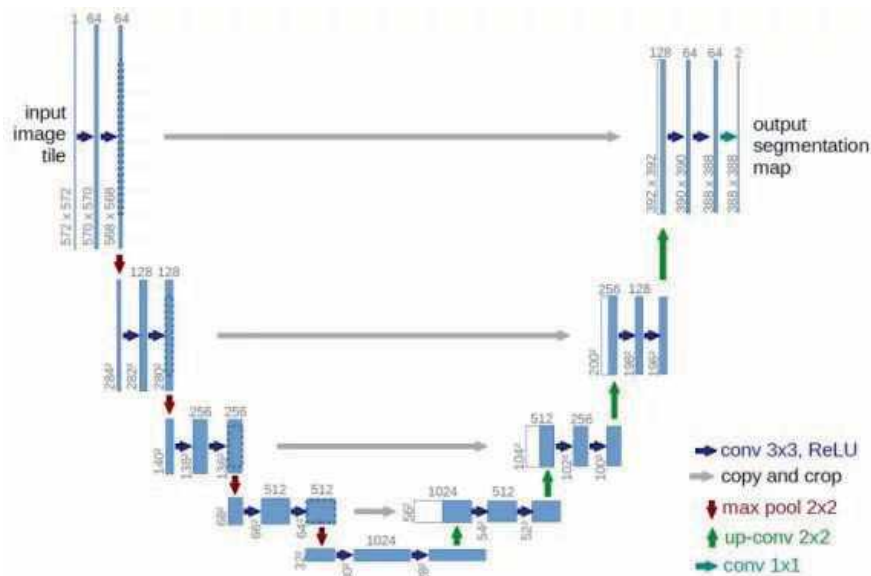
<sup>2</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук (ИГЕМ РАН), Москва

Соляные структуры являются важнейшими целями при сейсморазведке, поэтому необходим один быстрый, автоматический и точный метод для ускорения идентификации соляных структур в процессе разработки. С развитием алгоритмов машинного обучения учёные-геофизики применяют модели машинного обучения для решения проблем. Большинство моделей машинного обучения в геофизике требуют больших объемов данных при обучении модели. Однако количество сейсмических изображений ограничено и в действительности часто существует дисбаланс классов, что затрудняет применение алгоритмов машинного обучения в проектах разработки. Для того, чтобы преодолеть проблему количества информации на основе сейсмических изображений в нашей работе, разрабатывается принципиально новый подход, в котором собирается набор данных двумерных (2D) сейсмических изображений и обучается несколько моделей U-net с помощью методов инверсии и многократной дистилляции. Кроме того, для повышения производительности модели введена самодистилляция. Испытание с использованием общедоступного набора сейсмических данных и случая обнаружения соли в разрез Гремячинского месторождения показывает, что метод дистилляции способен автоматически и точно идентифицировать соляные структуры, что имеет большой потенциал для применения не только в реальной эксплуатации, но и при поисках связанных полезных ископаемых, таких как газ и нефть.

U-Net считается одной из стандартных архитектур сверточных сетей (CNN) для задач сегментации изображений, когда нужно не только определить класс изображения целиком, но и сегментировать его области по классу, т. е. создать маску, которая будет разделять изображение на несколько классов. Архитектура состоит из стягивающего пути для захвата контекста и симметричного расширяющегося пути, который позволяет осуществить точную локализацию (рисунок).

Сеть обучается методом стохастического градиентного спуска на основе входных изображений и соответствующих им карт сегментации. Из-за свертки выходное изображение меньше входного сигнала на постоянную ширину границы. Применяемая попиксельно, функция softmax вычисляет энергию по окончательной карте свойств вместе с функцией кросс-энтропии. Кросс-энтропия, вычисляемая в каждой точке, определяется в соответствии с формулой (1):

$$\sum = \sum_{x \in \Omega} \omega(x) \log(pl_{(x)}(x)) \quad (1)$$



### Архитектура U-net (пример изображения с разрешением $32 \times 32$ пикселя – самым низким)

Каждый синий квадрат соответствует многоканальной карте свойств. Количество каналов приведено в верхней части квадрата. Размер  $x$ -у приведен в нижнем левом крае квадрата. Белые квадраты представляют собой копии карты свойств. Стрелки обозначают различные операции

Граница разделения вычисляется с использованием морфологических операций. Затем вычисляется карта весовых коэффициентов (2):

$$\omega(x) = \omega_c(x) + \omega_0 \times \exp\left(-\frac{(d_1(x) + d_2(x))^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2)$$

где  $\omega_c$  – карта весов для балансировки частот классов,  $d_1$  – расстояние до границы ближайшей ячейки, а  $d_2$  – расстояние до границы второй ближайшей ячейки.

Мы осуществили попытку применения обученной модели U-net для идентификации структуры соли на 2D-сейсмических изображениях нескольких разрезов Волгоградской области. Сейсмические 2D-данные ограничены и имели низкое качество. Более того, из-за отсутствия данных стратиграфии и каротажа идентификация кунгурской соли традиционными методами затруднительна.

Кунгурская соленосная толща состоит из типичного набора (для этого региона) ритмов сильвинита и галитита, залегающая на глубинах более 1100 м [1]. Скважинные данные показывают, что линия выклинивания расположена за скважинами 13 и 2, что использовалось как контрольные точки с момента запуска этапа прогнозирования точки исчезновения на сейсмических изображениях. А в основном процесс прогнозирования такой же, как и для ультрамасштабной идентификации соли. Модель сначала случайным образом выбирает начальную точку и идентифицирует соль в поле размером  $100 \times 100$  пикселей. Затем срезанные изображения реконструируются и выводятся как входное изображение.

В настоящее время затраты на обучение модели все еще высоки. Модель множественной и самодистилляции использует переверот изображения для завершения дополнения данных, дистилляцию для передачи извлеченных признаков, чтобы помочь в обучении модели на следующем этапе, и самодистилляцию для увеличения градиента слоев в моделях. Для одной модели U-net затраты времени на обучение составляют 1 час 45 минут на каждом этапе. При пяти этапах временные затраты составят не менее 8 часов 45 минут. По сравнению со сквозными моделями структура модели обратной многократной самодистилляции сложна. Одним из возможных решений снижения сложности модели и использования фоновых функций является

многозадачное обучение. При наличии разумной функции совместных потерь одна система могла бы одновременно идентифицировать фон и структуру соли. Мы пытаемся разработать подход к использованию суммирования двух задач (идентификация фона и идентификация соли) с разными масштабными коэффициентами, но IoU для обнаружения соли далек от IoU модели обратной многократной самодистилляции. Чтобы реализовать построение сквозной модели, использующей информацию фона сейсмических изображений для обучения моделей, необходимо будет построить новую функцию потерь.

Кроме того, временные затраты также слишком велики для вывода сейсмических изображений высокого разрешения. К сожалению, в настоящее время модели обратной множественной самодистилляции потребуются несколько минут, чтобы идентифицировать соль на изображениях с тысячами пикселей. Нам представляются два метода, которые могут решить проблему и ускорить процесс вывода изображений. Один из способов – использовать сквозную структуру для обучения моделей. Другой вариант – улучшить качество набора данных за счет расширения масштаба выборки изображений.

Помимо перечисленных проблем выявлено, что модель многократной и самодистилляции неправильно маркирует некоторые сложные сейсмические изображения. Соляная структура обычно развивается в ассоциации с разломами. Когда имеется более двух или трех разломов, характер отражения нарушает классификацию модели и модель ошибочно помечает разлом как соль. Для того, чтобы решить эту проблему, в набор данных необходимо собрать больше сейсмических изображений, содержащих как соль, так и разломы.

В будущем использовании предлагается объединять систему многозадачного обучения с дистилляцией собственных знаний, чтобы улучшить эффективность моделей при идентификации соли. Кроме того, необходимо добавлять как можно больше изображений в набор данных и очищать набор данных, чтобы модели могли извлекать соляные объекты в дополнительных масштабах. Между тем, учитывая сложность сбора сейсмических изображений, содержащих как соль, так и множественные разломы, в набор данных следует добавлять моделирование соли и разломов. Неправильная идентификация соляных изображений со сложными системами разломов и время прогнозирования может скорректироваться добавлением в набор данных более сложных изображений неисправностей и использованием сред многозадачного обучения для построения сквозной модели для повышения эффективности прогнозирования.

## Литература

1. *Никулин И. И.* Литиеносность нижнепермских доломит-ангидритовых отложений Приволжской моноклинали // *Фундаментальные проблемы изучения вулканогенно-осадочных, терригенных и карбонатных комплексов (литол 2023): Материалы Всероссийской научной конференции (с иностранным участием). Конференция посвящена памяти Анны Григорьевны Коссовской (1915–2000) и Ирины Васильевны Хворовой (1913–2003).* Москва, 18–21 апреля 2023 года. – М. : ГЕОС, 2023. – С. 140–144.



# ПРИМЕНЕНИЕ ГИС INTEGRО ПРИ КОМПЛЕКСНОМ АНАЛИЗЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЙ

И. В. Спиридонов

*Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт,  
Москва, i.spiridonov@geosys.ru*

**Актуальность.** Анализ данных современного геофизического комплекса нефтегазопоисковых работ требует применения высокоразрешающих методов количественной интерпретации (решения обратных задач для различных геофизических полей), а также многообразных статистических процедур поиска закономерностей распределения получаемых наборов физических свойств геологических объектов и содержательных корреляционных зависимостей между ними [2].

Основной идеей данного доклада является демонстрация методов и технологических приемов комплекса ГИС INTEGRО, применяемых для оценки коллекторских свойств осадочных формаций чехла Сибирской платформы. Анализируются материалы проекта геологоразведочных работ в зоне сочленения Байкитской антеклизы и Курейской синеклизы (Байкитская площадь). Представленный граф включает анализ данных потенциальных полей с районированием по критериям близости к объекту с «идеальными» коллекторскими свойствами, а также процедуры выделения в разрезах удельных электрических сопротивлений зон повышенной проводимости, перспективных для поиска коллекторов и углеводородных ловушек. По результатам комплексного анализа, проведенного с опорой на геологические сведения, сейсмические и скважинные материалы, а также сведения о физических свойствах породных комплексов, для наиболее перспективных нефтегазовых комплексов области исследования, построены карты распределения объектов с улучшенными коллекторскими свойствами.

**Геолого-географическая характеристика района исследования.** Исследуемая территория находится на юго-западе Сибирской платформы в междуречье Подкаменной и Нижней Тунгусок, в зоне сочленения СЗ склона Байкитской антеклизы и ЮЗ борта Курейской синеклизы в пределах Южно-Тунгусской и, частично, Байкитской НГО (в составе Лено-Тунгусской НГ провинции). В ее пределах как наиболее крупные выделяются тектонические структуры Бахтинового мегавыступа, а также ряд структурных мысов и поднятий второго и более мелких порядков.

**Изученность.** Для изучения геологического строения и перспектив нефтегазоносности этих областей, соседствующих с крупными нефтегазовыми объектами Байкитской антеклизы (Юрубчено-Тохомским, Куломбинским и другими месторождениями), геофизические работы проводятся еще с 1960–1970-х годов (гравимагнитные съемки, ГСЗ, сейсмическое профилирование МОГТ, МТЗ и ЗСБ и др.). В разрезе выделены комплексы архей-протерозойского фундамента, карбонатно-терригенный рифей-вендский, карбонатно-солевой венд-среднепалеозойский и, в основном, терригенный верхне-палеозойский надсолевой комплексы. В отношении поиска углеводородов территория все еще считается малоизученной и в настоящее время служит полигоном проведения современных комплексных геофизических исследований.

**Характеристика целевых объектов.** Целевыми объектами являются трещиноватые и карвернозно-трещиноватые карбонатные, терригенно-карбонатные отложения кембрия, венда и рифея, а также характеризующиеся наибольшей пористостью терригенные отложения венда.

Локальными и зональными флюидоупорами для вендских коллекторов служат толщи галогенно-карбонатного комплекса, а для трещиноватых карбонатов – более массивные карбонатные (доломиты) или галогенные (ангидриты) отложения, а также глинисто-карбонатные венд-кембрийские толщи.

**Районирование территории по критериям близости к объекту с «идеальными» коллекторскими свойствами.** В результате комплексного анализа данных, проведенного для оценки

перспектив нефтегазоносности на площади исследования, в разрезе осадочного чехла было выделено несколько интервалов, обусловленных литологическими особенностями отложений, с которыми могут быть связаны перспективные УВ объекты. Один из них – интервал от кровли бельской свиты нижнего кембрия до кровли усольской свиты нижнего кембрия (горизонты К2–У1), в пределах которого по сейсмическим данным выделяется органогенно-обломочный слой, трактуемый как зона аккумуляции обломков рифогенных построек.

Для районирования территории в пределах этого интервала по комплексу признаков была выполнена критериальная таксономия по мере сходства с «идеальным объектом». В качестве критериев были использованы следующие признаки.

1. Временная мощность органогенно-обломочного слоя в интервале К2–У1. Критерий рассчитывался по сейсмическому кубу, созданному на район работ по технологии построения объемных седиментационно-емкостных моделей осадочных бассейнов [5].

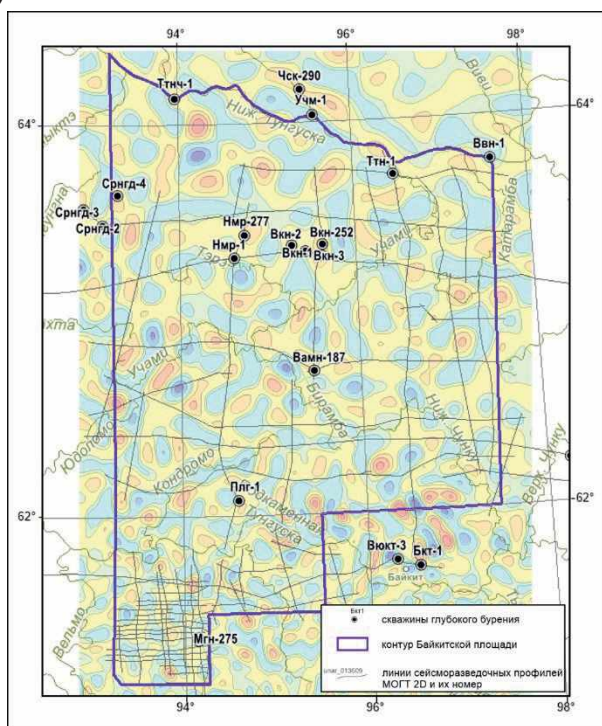
2. Среднее значение эффективной плотности в интервале К2–У1, рассчитанное по 3D спектральной инверсии поля силы тяжести. Параметры спектральной инверсии гравитационного и магнитного полей были подобраны с использованием опорных профилей ГСЗ «Шпат», «Рифт-1» и «Кимберлит-1» по технологии [3]. Осреднение в пределах слоя выполнено по оси Z (рисунок, а).

3. Среднее значение эффективной намагниченности в интервале К2–У1, рассчитанное по 3D спектральной инверсии магнитного поля (рисунок, б).

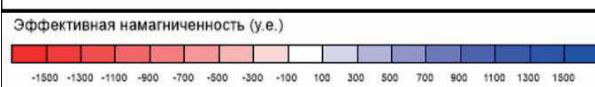
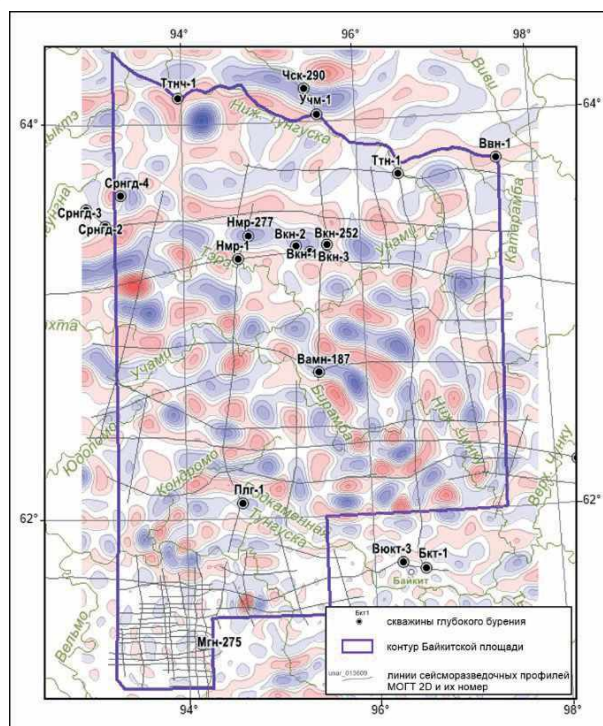
По этим критериям было сформировано понятие «идеальный объект», который характеризуется:

- максимальной временной мощностью органогенно-обломочного слоя;
- минимальной эффективной плотностью в слое (разуплотнение горных пород, связанное с литологическими особенностями в нем);

а)



б)



а – среднее значение эффективной плотности в интервале К2–У1,

б – среднее значение эффективной намагниченности в интервале К2–У1

1 – скважины глубокого бурения, 2 – границы Байкитской площади, 3 – линии сейсморазведочных профилей МОГТ

– минимальной эффективной намагниченностью (исключение областей развития трапповых и интрузивных комплексов большой мощностью).

В результате критериальной таксономии был получен максимальный коэффициент сходства с «идеальным» объектом, равный 0,75. Минимальный коэффициент сходства составил 0,25.

Максимальная мера сходства с «идеальным» объектом в слое К2–У1 (до 0,75) отмечается вдоль северной границы Бахтинского мегавыступа (Таначинский мегавал, Суриндинский выступ), а также в зоне сочленения Бахтинского мегавыступа и Преденисейского прогиба. В центральной части Бахтинского мегавыступа сходство с «идеальным» объектом незначительно (менее 0,5), что не в последнюю очередь связано с зоной повышенной магматической активности северо-западного простирания, выделяемой по геологическим и геофизическим данным. Кроме того, сопоставление результата критериальной таксономии с параметром «степень насыщенности траппами» в интервале К2–R0 (кровля бельской свиты нижнего кембрия – эрозионная подошва венда), рассчитанным по данным магнитометрии, указывает на то, что крупные перспективные объекты расположены вне зоны максимального значения этого параметра. Перспективные области на УВ в интервале К2–У1 выделялись по изолинии меры сходства с «идеальным» объектом, равной 0,6, с учетом непопадания в область повышенных значений коэффициента насыщенности траппами в целом для осадочного чехла (>250 у.е), полученным по данным магнитометрии.

**Выводы.** Комплексный подход, обеспеченный средствами ГИС INTEGRО при изучении расположенной на юго-западе Восточно-Сибирской платформы и перспективной на углеводороды Байкитской площади, дает возможность провести более точный анализ различных геофизических моделей палеозойского осадочного чехла. Результаты проведенных исследований позволяют снизить вероятность принятия ошибочных решений на стадии поиска углеводородов, а также при последующем заложении поисково-разведочных скважин.

#### Литература

1. *Куприянов И. С.* Возможности блока анализа магнитотеллурических данных в комплексе ГИС INTEGRО // *Геоинформатика*. – 2022. – № 2. – С. 4–11.
2. *Черемисина Е. Н., Финкельштейн М. Я., Деев К. В.* и др. ГИС INTEGRО. Состояние и перспективы развития в условиях импортозамещения // *Геология нефти и газа*. – 2021. – № 3. – С. 31–40.
3. *Спирidonov В. А., Пиманова Н. Н.* Методические и технологические аспекты исключения гравитационного эффекта нижней части земной коры при изучении осадочного чехла нефтегазоносных территорий // *Геоинформатика*. – 2020. – № 3. – С. 38–45.
4. *Большаков Е. М., Бисеркин И. А., Куприянов И. С.* и др. Применение ГИС INTEGRО при комплексном геофизическом изучении глубинного строения нефтегазоперспективных регионов (часть 2) // *Геоинформатика*. – 2023. – № 1. – С. 31–42.
5. *Мушин И. А., Фортунатова Н. К., Белоусов Г. А.* Технология построения седиментационно-емкостных моделей осадочных бассейнов // *Технологии сейсморазведки*. – 2012. – № 1. – С. 37–45.

# СОПОСТАВЛЕНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛИТОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПО ДАННЫМ ГИС

М. М. Талыбова<sup>1,2</sup>, Д. А. Староселец<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский Индустриальный Университет», Тюмень

<sup>2</sup>ООО «ГудГео», Тюмень, [mylerav@mail.ru](mailto:mylerav@mail.ru)

Современный общемировой тренд на цифровизацию и автоматизацию производственных, исследовательских, аналитических и иных процессов определил внедрение технологий искусственного интеллекта. В нефтегазовой отрасли одной из таких является машинное обучение, получившее широкое распространение во многих сферах наук [4; 9]. Перспективным на настоящем этапе видится автоматизация литологической интерпретации разреза скважин на данных ГИС с использованием алгоритмов машинного обучения, и так как работа в части интерпретации ГИС весьма трудо- и, соответственно, капиталозатратна, для операторов геологической информации требует ускорения и оптимизации рабочих процессов по интерпретации.

Многофакторность геологических параметров, выраженных широким спектром литолого-минералогического состава, условиями залегания и происхождения, постседиментационными процессами и т. д., обусловила отсутствие единообразия при выделении пород по ГИС как специалистом, так и методами машинного обучения. Вместе с тем, существование значительного числа машинных алгоритмов позволяет рассмотреть их индивидуальное применение в зависимости от вышеназванных геологических параметров. Это актуализирует выявление наиболее эффективного метода для отдельных разрезов и задач.

В настоящем исследовании ставится в основу необходимость выявления наиболее эффективной модели обучения для литологической интерпретации разреза скважин в интервале ачимовских отложений по данным ГИС. В качестве объектов для апробации приняты ачимовские породы как по причине их активного изучения и освоения на настоящий момент в пределах Западной Сибири, а также достаточно неоднородного состава.

Цель проводимых исследований заключается в апробировании алгоритмов машинного обучения «Случайный лес», «Наивный Байесовский классификатор», «Логистическая регрессия» и выявлении наиболее эффективных из них для литологической интерпретации по данным ГИС на терригенных разрезах ачимовской толщи.

Входными материалами послужили следующие данные ГИС: (1) гамма-каротаж (ГК) и нейтронный каротаж (НК) по 5 скважинам (4 скважины – обучающая выборка, 1 скважина – тестируемая), (2) ручная литологическая интерпретация. В разрезе ачимовских отложений нижнего мела тестируемого стратиграфического интервала были выделены следующие литотипы: (1) песчаник, рассматриваемый как порода-коллектор, (2) глины и алевролиты – породы-неколлектора, (3) песчаная карбонатизированная порода (плотная порода) (порода-неколлектор).

Для сравнения эффективности литологической интерпретации ГИС были выбраны наиболее востребованные алгоритмы машинного обучения, способные выполнять классификацию данных на несколько групп или (в настоящем случае) литологических типов пород [12].

Полученные значения в математических метриках

Коэффициент успешности/Метод	Случайный лес	Наивный Байес Гаусс	Логистическая регрессия
Глина, %	90	89	89
Песчаник, %	65	66	67
Плотная порода, %	63	71	72
Общая, %	85	86	85

Подробнее остановимся на всех применяемых методах. Алгоритм «Случайный лес» состоит из нескольких деревьев решений, полученные результаты которых затем усредняются, что приводит к уменьшению дисперсии модели. Ввиду этого классификатор не склонен к переобучению [10]. В то время как каждое дерево по отдельности имеет невысокий уровень предсказаний.

Модель «Логистическая регрессия» является гибкой, ее можно применять как для работы с бинарными данными, так и для большого количества классов [7]. «Логистическая регрессия» подразделяется на несколько типов на основе категорий: бинарная (выходные данные состоят из бинарных значений), мультиномиальная (выходные данные состоят из неупорядоченных значений в количестве 3 и более), порядковые (выходные данные состоят из упорядоченных значений в количестве 3 и более) [13].

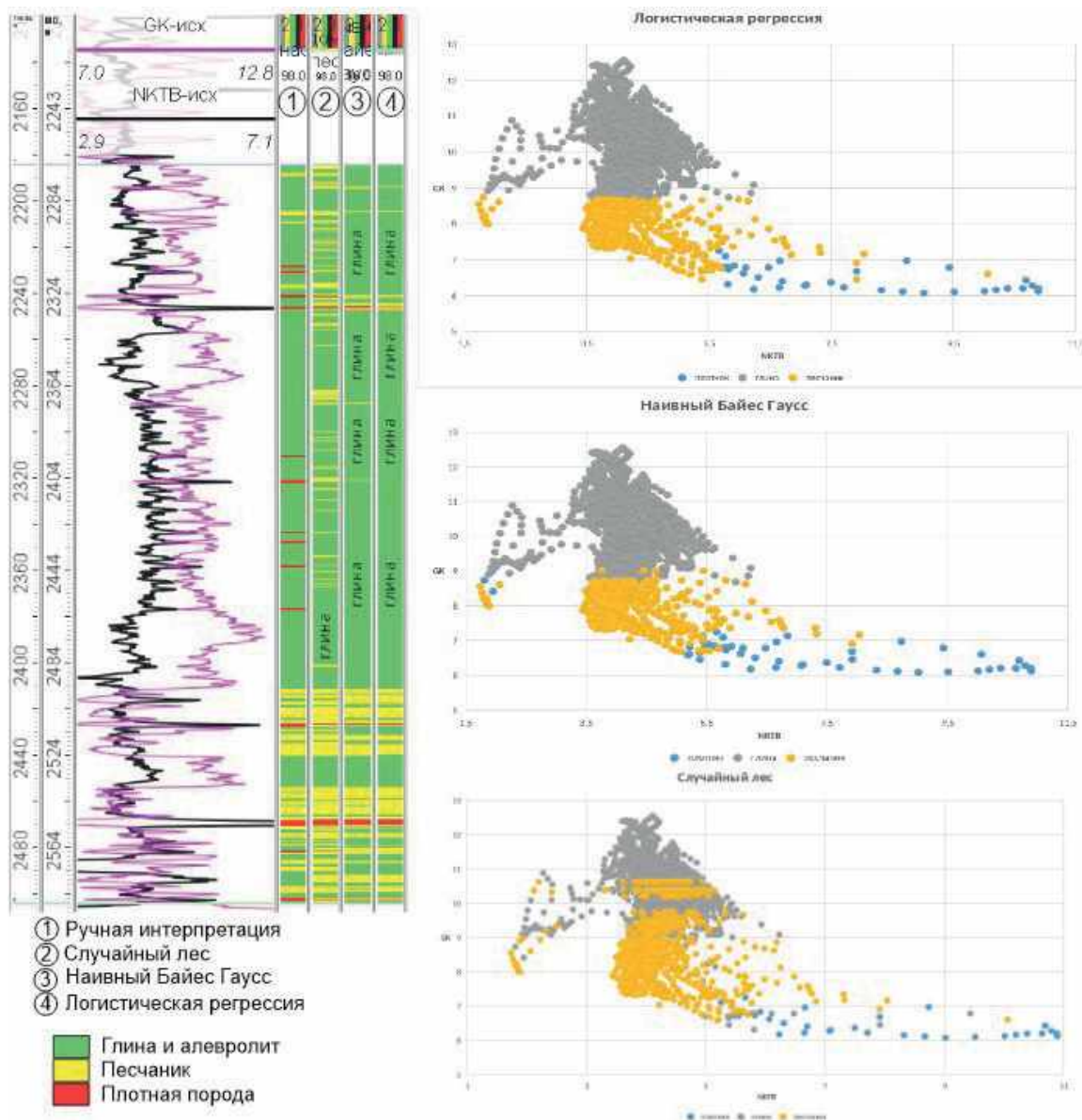
Байесовские классификаторы не учитывают возможную взаимосвязь данных, ввиду чего обработка большого количества значений усложняет функционирование модели и приводит к тому, что для метода предпочтительнее относительно малый объем данных [8]. Одной из модификаций байесовского классификатора является модель «Наивный Байес Гаусс», отмечающаяся своей точностью и достоверными выходными данными [6]. Классификатор «Наивный Байес Гаусс» первоначально разбивает данные на классы, а затем усредняет их, также модель не требует большого количества входных данных в обучении.

Неодинаковая пропорциональность в данных с отклонением в сторону одного из классов способствует получению некорректных данных. Выяснить ошибочность выдаваемых данных позволяет использование валидации методом перекрестной оценки. Валидация – это оценка предсказательной способности модели, а именно проводится разбиение данных на 2 группы, часть из которых передается машине в обучение, часть – на самопроверку. Процент валидации указывает на соотношение количества переданных в ту или иную ветку и при настоящем тестировании принят в 25 %.

Для оценки качества обучения моделей использовались следующие метрики: «Accuracy score» (оценка точности), показывающая успешность обучения модели, и «Матрица ошибок», дающая в процентном соотношении оценку обучению каждого литотипа путем вычисления коэффициента успешности. Матрица состоит из значений, соответствующих ложным и истинным предсказаниям, где истинные значения располагаются по диагонали матрицы. Процентное соотношение в метриках позволяет дать оценку качества прохождения обучения.

В рамках тестирования получены следующие результаты: 1) согласно математическим метрикам, наилучшее выделение литотипов песчаник и плотная порода выполнено моделью «Логистическая регрессия» (таблица); 2) коэффициент успешности, наилучший по литотипу – глина у модели «Случайный лес», 3) процент общей эффективности интерпретации у всех моделей сопоставим, 4) сравнение в разрезе результатов интерпретации фиксирует, что наибольшее количество литотипа песчаник выделяет алгоритм «Случайный лес» (рисунок), 5) значения литотипов, распределенных с наименьшим количеством отлетов в «нерелевантные» группы, соответствуют модели «Логистическая регрессия», граничные значения областей явно прослеживаются (рисунок); (6) «Логистическая регрессия» и «Наивный Байес Гаусс» выделяют наиболее выдержанные по толщине породы песчаника, в то время как «Случайный лес» интерпретирует с выделением очень тонких пропластков.

Исходя из результатов можно сделать следующие выводы: 1) наилучшая оценка точности была получена на модели «Наивный Байес Гаусс», что, вероятно, обусловлено набором входных данных, 2) «Наивный Байес Гаусс» в сравнении со «Случайный лес» выделяет значительно меньшее количество пропластков песчаников и плотных пород и делает это в основном на наиболее характерных показателях кривых ГИС (в максимальных/минимальных значениях), 3) модель «Логистическая регрессия» выделяет большие по мощности интервалы пропластков, из-за этого интерпретация имеет более приближенный вид к ручной, ввиду чего при обучении на этой модели значения в метриках одни из максимальных, 4) по разрезу результаты интерпретации при обучении на моделях «Наивный Байес Гаусс» и «Логистическая регрессия»



Диаграммы распределения значений литотипов при разных моделях обучения

имеют наиболее схожий вид, различия в мощностях литотипов составляют первые единицы метров (рисунок), что позволяет рассматривать их в качестве основы для замены ручной интерпретации или выполнения первичной интерпретации.

### Литература

1. Вьюгин В. В. Математические основы теории машинного обучения и прогнозирования. – М., 2013. – 387 с.
2. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / П. Флах; пер. с англ. А. А. Слинкина. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 400 с.
3. Запечников С. В. Модели и алгоритмы конфиденциального машинного обучения // Безопасность информационных технологий. – 2020. – Т. 27, № 1. – С. 51–67.
4. Lui T. C. C., Gregory D. D., Anderson M. et al. Applying machine learning methods to predict geology using soil sample geochemistry // Applied Computing and Geosciences. – 2020. – No. 16. – P. 2–13.
5. Karthikeyan J. P. R. Comparing Naive Bayes Classifier with Random Forest Classifier for Accurate Deauthentication Attack Detection // Journal of Survey in Fisheries Sciences. – 2023. – No. 10. – P. 1553–1562.
6. Zhao D., Wang Yi, Wang Q. et al. Comparative analysis of different characteristics of automatic sleep stages // Computer Methods and Programs in Biomedicine. – 2019. – No. 175. – P. 53–72.
7. Messaoud S., Bradai A., Bukhari S. H. R. et al. A survey on machine learning in Internet of Things: Algorithms, strategies, and applications // Internet of things. – 2020. – No. 12.
8. Jurafsky D., Martin J. H. // Speech and Language Processing – 2024. – No. 3. – P. 2–25.

9. Кочнев А. А., Козырев Н. Д., Кочнева О. Е. и др. Разработка комплексной методики прогноза эффективности геолого-технических мероприятий на основе алгоритмов машинного обучения // Георесурсы. – 2020. – № 22(3). – С. 79–86.

10. Erofeev A., Orlov D., Ryzhov A. et al. Prediction of Porosity and Permeability Alteration based on Machine Learning algorithms // Arxiv. – 2019. – P. 2–19.

11. Assilbekov B. K., Kalzhanov N. Ye., Bolysbek D. A. et al. Based on Machine Learning Algorithms // Kazakhstan journal for oil and gaz industry. – 2024. – No. 5(3). – P. 5–19.

12. Mahesh B. Machine Learning Algorithms – A Review // International journal of science and research. – 2019. – No. 9(1). – P. 381–386.

13. Gehringer C. K., Martin G. P., Calster B. V. et al. How to develop, validate, and update clinical prediction models using multinomial logistic regression // Journal of clinical epidemiology. – 2024. – No. 174. – P. 2–11.

## ВАРИАТИВНОСТЬ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ГЕОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СЛОИСТЫХ КОМПЛЕКСАХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

А. С. Шаталова, О. Б. Пономарев

ООО «ПроТех Инжиниринг»,  
Санкт-Петербург, shatalovaAS@suek.ru; oleg.ponomarev@pte.eurochem.ru

Проблема охраны подземных и поверхностных вод особенно актуальна на горнодобывающих предприятиях. Для минимизации фильтрационных потерь из бассейнов промышленного стока предусматривается строительство гидротехнических и дренажных сооружений, которые существенно меняют гидродинамическую картину района. Появляется опасность подтопления, возникает угроза нарушения устойчивости откосов гидротехнических сооружений. Для предупреждения негативных факторов промышленного освоения территории используются методы численного моделирования [1].

Одним из наиболее популярных программных комплексов для разработки и реализации численных геофильтрационных моделей является Visual MODFLOW Flex [4]. В горнодобывающей отрасли программа широко используется для выполнения различных задач, таких как оценка и прогноз изменения гидрогеологической обстановки под влиянием техногенных факторов, уровня загрязнения водоносных горизонтов и др. Основным этапом моделирования является подготовка исходных данных, включающая в себя создание модельно ориентированных карт района исследований, определение условий питания и разгрузки водоносных горизонтов, их фильтрационных характеристик, а также обобщение данных гидрогеологического мониторинга и результатов инженерно-гидрометеорологических, гидрологических и геодезических изысканий. Отсутствие или недостаток исходных данных приводит к неоднозначным результатам моделирования. Исполнитель сталкивается с необходимостью упрощенной схематизации гидрогеологических условий, что существенно увеличивает вариативность представления модели.

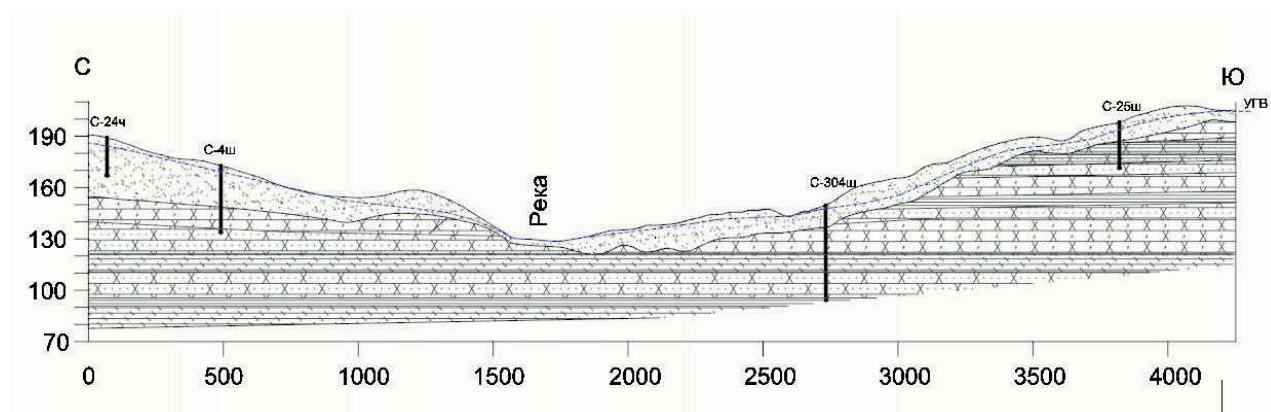


Рис. 1. Схематичный разрез территории изучения

Для анализа степени влияния субъективности представления гидрогеологической обстановки приведены результаты двух независимых расчетов, выполненных при одинаковых исходных данных [2]. Границы моделируемой области также идентичны и установлены в соответствии с техническим заданием.

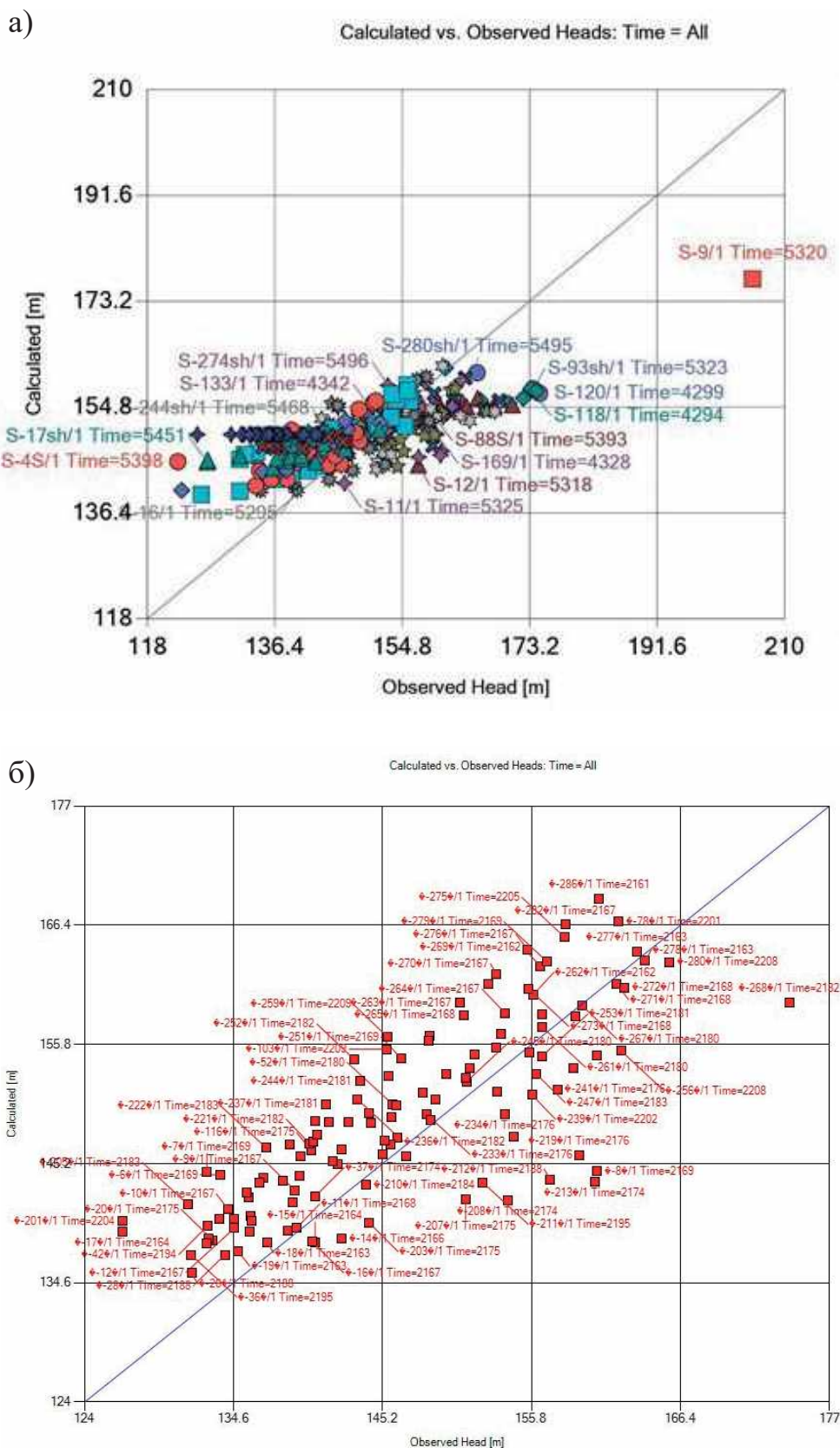


Рис. 2. Соотношение модельных и натуральных уровней



Основной задачей моделирования являлось создание рабочей геофильтрационной модели для оценки изменения гидродинамической обстановки территории на этапе проектных решений (строительство резервуаров, защитных гидротехнических и дренажных сооружений), решения геомиграционных задач и прогнозирования аварийных ситуаций.

Задача выполнялась в несколько этапов. В начале была построена концептуальная модель, затем математическая в естественных условиях и нарушенном режиме, проведены дальнейшие прогнозные расчеты.

Область моделирования имеет большую геологическую базу. Геологический разрез представлен аллювиальными и аллювиально-делювиальными отложениями, ниже которых залегает неоднородная толща аргиллитов, глинистых алевролитов, песчаников, известняков (рис. 1). Результаты исследований дают достаточную информацию о строении и фильтрационных свойствах первых от поверхности горизонтов и неоднозначную о водоносных интервалах дочетвертичных отложений. Имеющиеся результаты опытно-фильтрационного опробования и расходомерии не представительны, так как велись на различных интервалах глубин, а замеры в скважинах при режимных наблюдениях, выполненные в разное время, не позволяют определить единую уровневую поверхность. Закономерности распространения проницаемых зон в неоднородной толще предполагаются на основании косвенных данных: отметки появления воды в скважинах и положение родников в руслах водотоков.

В связи с неоднозначными данными о строении слоистой толщи выбрано следующее модельное представление. В первом случае толща представлена в виде семи чередующихся слоев высокой и низкой проводимости. При этом слои имеют горизонтальное простирание. Во втором случае толща представлена одним слоем, кровля которого повторяет конфигурацию рельефа. На площади модели выделены зоны фильтрационной неоднородности, приуроченные к долинам рек и водоразделам.

Также различия коснулись путей достижения водного баланса. В первом случае поступление вод осуществляется за счет инфильтрационного питания, бокового притока по проницаемым слоям неоднородной толщи и вертикального перетока из нижележащего водоносного подразделения. Во втором варианте приток осуществляется только за счет инфильтрации.

Качество моделей определяется сходимостью – величиной ошибки при сравнении уровней в скважинах натуральных измерений с полученными в результате расчетов. Ошибка, рассчитанная как процент отношения средней квадратической ошибки (RMS) к интервалу изменения уровня, в первом случае составила 10,3 % (рис. 2, а), во втором – 13,9 % (рис. 2, б), что является удовлетворительным.

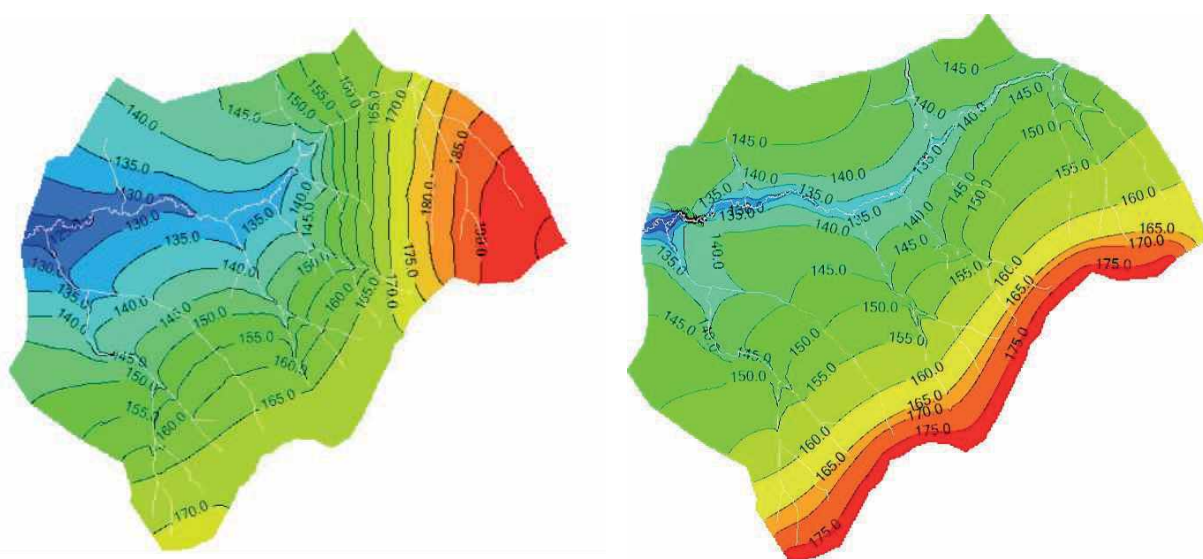
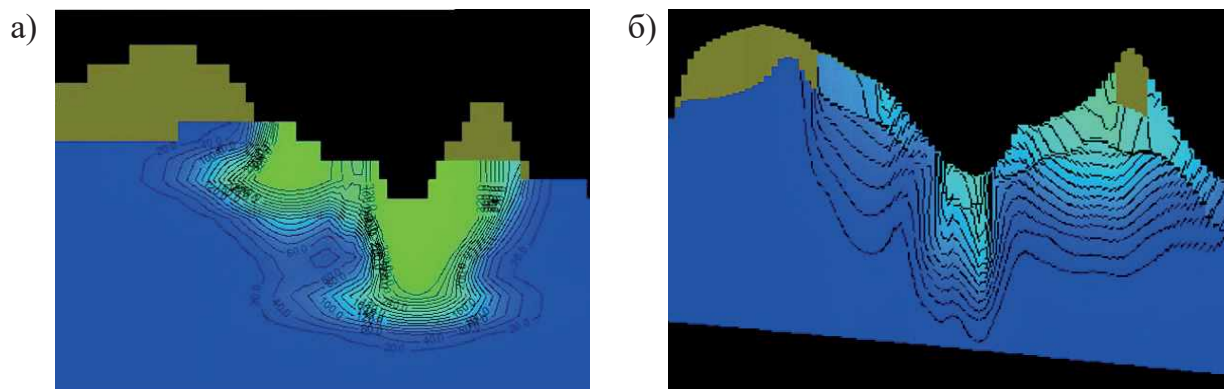


Рис. 3. Свободная поверхность подземных вод



**Рис. 4.** Характер распространения некондиционных вод прогнозного геомиграционного моделирования

Ниже представлены результаты положения водного зеркала, полученные в первом (рис. 3, а) и втором варианте (рис. 3, б).

Особенно наглядно демонстрируют разницу моделей результаты миграционных расчетов (рис. 4). Существенно отличается характер распространения некондиционных вод в толще слоистых отложений. В случае, когда толща представлена чередующимися слабопроницаемыми и проницаемыми слоями, распространение загрязнителя происходит преимущественно в горизонтальном направлении, а в случае, когда толща представлена водопрводящими слоями достаточно большой мощности, распространение загрязнения стремится в глубину.

Преимущество численного моделирования в программе Visual MODFLOW неоспоримо в вопросах решения сложных фильтрационных и миграционных задач в неоднородных многослойных средах. Программа дает возможность учета различных природных и техногенных факторов.

Основные недостатки численного моделирования следующие [3]:

- необходимость упрощения гидрогеологических условий из-за слабой геологической изученности и недостатка фактических данных;
- зависимость результата от геометрической разбивки модельной области и выбора временного шага;
- влияние границ модельной области на фильтрационный поток;
- сложность проверки достоверности полученного результата и его возможная неоднозначность;
- временные затраты на создание численной модели и обязательное наличие соответствующих компетенций при работе с моделирующими программами.

Сравнительный анализ результатов двух моделей показал, что принятые решения по интерпретации и схематизации исходной информации существенно сказываются на финальной стадии разработки модели. Полнота и достоверность исходных данных снижает фактор субъективности и вариативности представления информации при моделировании геофильтрационных процессов.

### Литература

1. Громов В. Е., Паиковский И. С., Потапова Е. Ю. Методика обработки данных опытно-фильтрационных работ в слоистых толщах с использованием моделирования и аналитических решений // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. – 2009. – С. 45–51.
2. Норватов Ю. А., Петрова И. Б., Яшина А. В. Специфика планирования и интерпретации опытных опробований неоднородных водоносных комплексов на примере месторождения алмазов им. В. Гриба // Записки Горного института. – 2012. – С. 27–30.
3. Синдаловский Л. Н. Гидрогеологические расчеты с использованием программы ANSDIMAT. – СПб. : «Наука», 2021. – 891 с.
4. Visual MODFLOW Flex // Waterloo Hydrogeologic. – URL: <https://www.waterloohydrogeologic.com/products/visual-modflow-flex> (дата обращения: 10.07.2024).

# ЧЕТВЕРТИЧНАЯ ГЕОЛОГИЯ

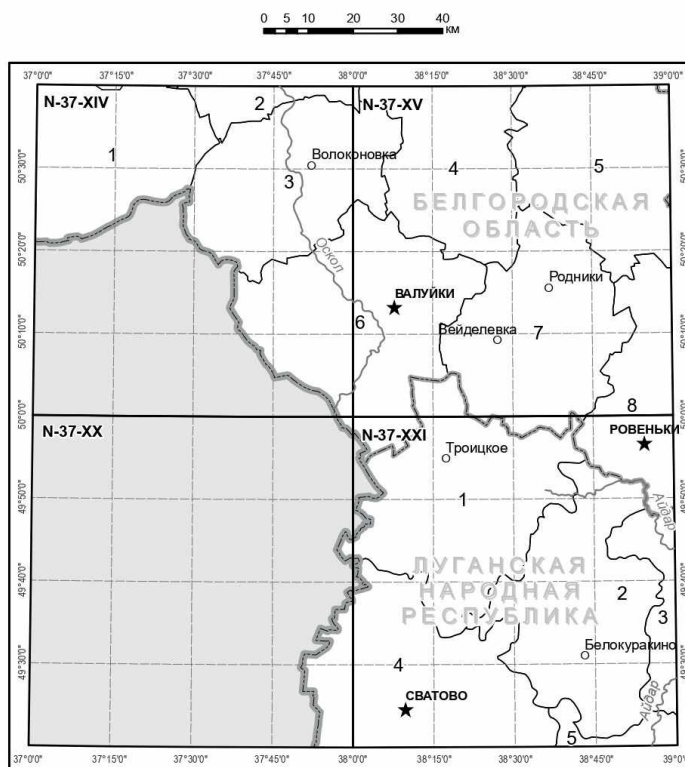
# ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ: РАЗЛИЧИЯ СЕРИЙНЫХ ЛЕГЕНД, ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДИКИ КАРТИРОВАНИЯ И ПРОБЛЕМЫ КОРРЕЛЯЦИИ ВЫДЕЛЯЕМЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ

М. А. Бродский, М. М. Дорошенко, А. С. Васильев

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Московский филиал, Москва, m.brodskiy@mfkarpinsky.ru;  
m.doroshenkov@mfkarpinsky.ru; a.vasiliev@mfkarpinsky.ru*

В рамках проведения ГДП-200 на территории листов М-37-ХIV, XV, XXI(XX) (рис. 1) сотрудниками Московского филиала Института Карпинского был собран значительный объем геологических материалов и информации. Ввиду проведения боевых действий на исследуемых площадях у нас отсутствует возможность организации полевых работ. В связи с данным фактом основной упор в нашей работе направлен на всестороннее изучение, переработку и обобщение материалов из фондов и архивов. А также анализ и интерпретацию геофизических материалов и ДЗЗ.

**Политико-административная схема размещения  
листов N-37-ХIV, N-37-ХV, N-37-XX, N-37-XXI**



**Условные обозначения**

**Районы Белгородской области**

- 1 Шебекинский район
- 2 Новооскольский район
- 3 Волоконовский район
- 4 Красногвардейский район
- 5 Алексеевский район
- 6 Валуйский район
- 7 Вейделевский район
- 8 Ровенький район

**Районы Луганской народной республики**

- 1 Троицкий район
- 2 Белокуракинский район
- 3 Новопсковский район
- 4 Сватовский район
- 5 Старобельский район

**Рис. 1. Обзорная карта района исследований**

Аналогичные работы на данной территории проводились предшественниками в 1970-х годах [7; 4; 3], из чего уже следует, что большая часть данных нуждается в актуализации и доработке. Помимо этого, существует ряд проблем, связанных с различиями легенд Воронежской и Донбасской серий листов, плохой расчлененностью и слабой изученностью отложений, отсутствием достаточного количества палеонтологических находок для более уверенной стратификации отложений. Например, для нижнемеловых отложений ввиду малой мощности и отсутствия палеонтологических данных довольно затруднительным остается вопрос отнесения к конкретной свите согласно Воронежской легенде. При этом авторы первого издания определяли их возраст как неоком-аптский, а более поздние исследователи – как аптский. На данном этапе исследований нам все же удалось расчленить и соотнести нижнемеловые отложения с конкретными горизонтами и свитами из Воронежской легенды на основе их литологических особенностей (рис. 2). Однако сбор и обобщение информации, способной подтвердить и опровергнуть наши предположения, продолжаются до сих пор. Это применительно не только к нижнемеловым отложениям, но и ко всем подразделениям, выделенным на исследуемой территории.

Большая часть проблем и вопросов, с которыми мы сталкивались, оказалась вполне решаемой благодаря сопоставлению с материалами карт и объяснительных записок на смежные территории [2; 5; 11]. Наибольшие трудности на данный момент вызывают корреляция и переиндексация подразделений, выделенных предшественниками в материалах первого издания, с подразделениями легенды Воронежской серии листов (для листов М-37-XIV, XV); сопоставление и перестратификация подразделений Донбасской серии листов с легендой Воронежской серии листов (для листов М-37-XXI(XX)).

Помимо этого, имеются различия между легендой Воронежской серии, обновленной легендой центральных районов, и применявшейся на территории ЛНР Донбасской серии в разделении неогеновых и четвертичных отложений. Выделение региональных стратиграфических подразделений осуществляется на основе выделения климатолитов, однако их число отличается от числа выделяемых стадий изотопно-кислородной шкалы в пределах, к примеру, звеньев неоплейстоцена (четыре стадии в верхнем неоплейстоцене согласно легенде центральных районов против шести климатолитов в том же верхнем неоплейстоцене Донбасской серии). Из-за этого в рамках разных легенд предусмотрено даже выделение разного количества надпойменных террас (две в верхнем неоплейстоцене согласно Воронежской серии и три согласно Донбасской серии). Отличается и сам подход к картографическому отображению четвертичных подразделений. В Воронежской серийной легенде принято показывать лессовые

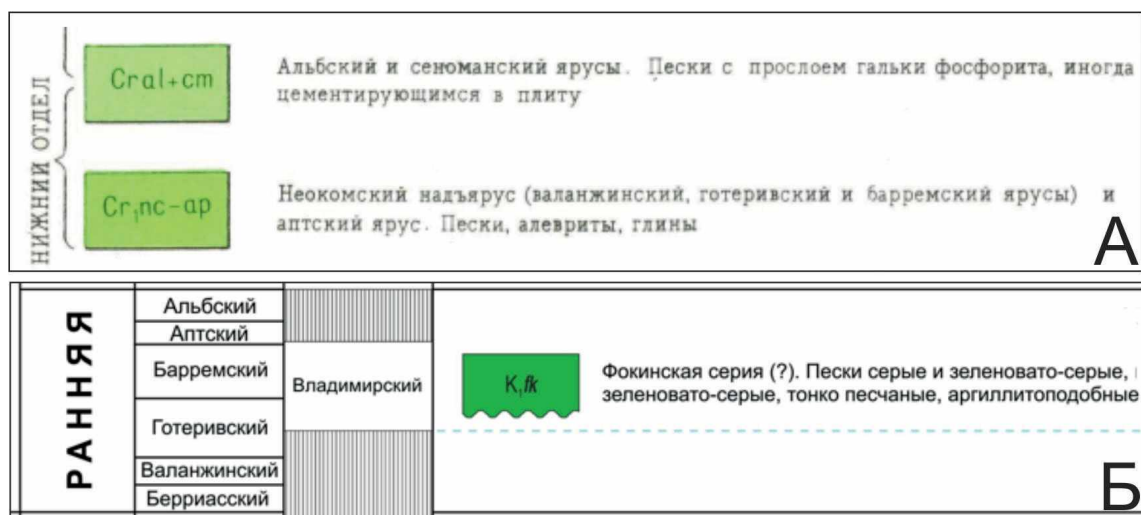


Рис. 2. Сравнение фрагментов легенд для нижнемеловых отложений, лист М-37-XIV:

А – легенда первого издания, Б – наш рабочий вариант легенды

и склоновые образования качественным фоном, если они лежат на дочетвертичных породах, и штриховкой, если лежат на других четвертичных образованиях. На картах Донбасской серии же лессовые и склоновые образования всегда показываются качественным фоном и, если они перекрывают, например, аллювиальные отложения надпойменных террас, то зона их распространения может быть показана штриховкой или линейными знаками границ этих тел. Часто при этом сразу несколько погребенных террас показаны нерасчлененными. Также существуют разночтения в понимании времени формирования отдельных толщ. К примеру, красно-бурые глины, согласно Донбасской серийной легенде, формировались до конца неогена в старом понимании (т. е. до конца гелазия), тогда как, согласно легенде Воронежской серии, красно-бурые глины формировались и в течение эоплейстоцена.

Таким образом, был рассмотрен ряд ключевых проблем и вопросов, значительно затрудняющих изучение геологического строения новых территорий. В наибольшей степени они вызваны отсутствием возможности проведения полевых работ и сбора дополнительного фактического материала. Однако наличие обширных литературных данных по территории исследований и смежным листам, геофизических материалов и данных ДЗЗ позволяет в той или иной степени решить эти проблемы и закрыть большинство вопросов.

### Литература

1. *Ахмедов А. М., Ключев Н. К., Наумкин А. Н.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист М-37 – Воронеж. Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 255 с.

2. *Бабайцев О. В., Василенко А. В., Вирченко Ю. В.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Воронежская. Лист М-37-ХІІІ (Белгород). Объяснительная записка. – Минприроды России, Роснедра, ЦРГЦ, Белгородгеология. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2000. – 195 с.

3. *Бланк М. Я., Котелевец Г. П., Шелухин В. И.* и др. Отчет о Государственной комплексной геолого-гидрогеологической съемке и поисках на территории листа М-37-ХХІ масштаба 1 : 200 000. Т.1. – Луганск, «Луганск-геология», Луганская ГКЭ, 1964. – 329 с.

4. *Бушужева Н. М.* и др. Отчет Валуйской геологосъемочной партии о комплексной геологической съемке масштаба 1 : 200 000 в пределах листа М-37-ХV, проведенной в 1959–1960 гг. (Белгородская область): Т. 1. – М., ТГУЦР, ГСЭ, 1961. – 192 с.

5. *Глушков Б. В., Трегуб А. И., Стрик Ю. Н.* и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Воронежская. Лист М-37-ХVІ (Россошь). Объяснительная записка. – Минприроды России, Роснедра, ЦРГЦ, ВГУ. – М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2022. – 96 с.

6. Легенда Воронежской серии Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 (второе издание). Утверждена НРС МПР России 30.12.1999. – М., 1999.

7. *Розановская Е. М.* и др. Отчет Белгородской геологосъемочной партии (Большеотроицкий отряд) о комплексной геологической съемке масштаба 1 : 200 000 листа М-37-ХІV, произведенной в 1958–1960 гг.: Т. 1. – М., ТГУЦР, 1960. – 277 с.

## ЛЕДНИКОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПЛЕЙСТОЦЕНА ГОРНОГО АЛТАЯ

А. С. Гладышева<sup>1</sup>, Д. В. Назаров<sup>1,2</sup>, О. А. Никольская<sup>1</sup>, С. В. Жигмановская<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, [gladisheva.aniuta@yandex.ru](mailto:gladisheva.aniuta@yandex.ru)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Несмотря на длительную историю исследований четвертичных образований Горного Алтая, достоверно неизвестен возраст морен, их количество и распространение. В ходе геологосъемочных работ ФГБУ «Институт Карпинского» 2020–2021 гг. получены новые геологические данные о ледниковых и разделяющих их образованиях. Вновь изучено более 50 опорных разрезов квартера. Выполнено 33 новых определения ОСЛ-возраста и получены следующие основные результаты.

1. По периферии Чуйской котловины в стратотипических разрезах Чаган и Чаган-Узун фиксируются два ледниковых комплекса возрастом 90–80 тыс. лет и 30–20 тыс. лет.

Нижняя часть разреза Чаган (2140–2050 м абс. выс.) сложена водноосадочными образованиями: песками и алевритами *бекенской* и косослоистыми галечниками *башкаусской свиты*. По нашим данным, ОСЛ-возраст башкаусской свиты и прикровельной части бекенской свиты в разрезе Чаган составляет 100 тыс. лет. *Башкаусскую свиту* с несогласием перекрывает *чаганский ледниковый комплекс*. Он слагает всю верхнюю часть обнажения на 2240–2090 м абс. выс. Ледниковый комплекс сложен алевритистым галечно-валунным диамиктоном основной и абляционной морен. В абляционном комплексе на разных высотах прослеживаются линзы и прерывистые прослои водноосадочного материала – параллельно-слоистых алевритов и галечников с гравием. В верхней части разреза Чаган выделяют от одной [8] до пяти морен [6; 2], а возраст различных элементов разреза меняется от нижнего до верхнего неоплейстоцена [1; 2; 6; 7; 9; 11]. Из линз озерно-ледниковых ритмитов в разных частях комплекса нами получены ОСЛ-возрасты в интервале 90–80 тыс. лет.

Самый молодой ледниковый комплекс южной части Чуйской котловины, вложенный в чаганский, изучен в сводном разрезе Чаган-Узун. Здесь в серии разрезов изучены отложения древнего цунгового бассейна внутри моренного амфитеатра. Гляциолимний представлен глинистыми алевритами и песками времени последнего продвижения ледников в Чуйскую котловину. ОСЛ-возраст различных фаций чаганузунских озерно-ледниковых образований составляет 30–20 тыс. лет.

2. Рельефообразующий ледниковый комплекс Улаганской котловины имеет возраст 90–60 тыс. лет. В Улаганской котловине основание видимой части разреза слагают косослоистые пачки охристых галечников с мелкими валунами и линзами песков башкаусской свиты. Свита вскрывается на 1250–1400 м абс. выс. в нижнем течении р. Кубадру. Из линз песков в основании башкаусской свиты получены ОСЛ-даты около 100 тыс. лет. Выше с угловым несогласием залегает ледниковый комплекс, распространенный в долинах рек Кубадру, Башкаусс и Бол. Улаган. Озерно-ледниковые образования, перекрывающие морену, слагают камовые холмы и террасы с ОСЛ-возрастом 90–60 тыс. лет.

## Литература

1. *Агатова А. Р., Непоп Р. К., Моска П.* и др. Новые данные комплексных исследований следов крупных климатических событий плейстоцена: оледенений, формирования ледниково-подпрудных озер и их катастрофических спусков на Алтае (горы юга Сибири) // Докл. РАН. Науки о Земле. – 2023. – Т. 510, № 2. – С. 201–207.
2. *Борисов Б. А.* Алтай-Саянская горная область // Стратиграфия СССР. Четвертичная система (полутом 2). – М.: Недра, 1984. – С. 331–351.
3. *Бутвиловский В. В.* Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. – Томск: Изд-во ТГУ, 1993. – 252 с.
4. *Девяткин Е. В.* Кайнозойские отложения и неотектоника Юго-Восточного Алтая. – М.: Наука, 1965. – 244 с.
5. Разрез новейших отложений Алтая (Опорные разрезы новейших отложений) / Под ред. К. К. Маркова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 208 с.
6. Решения Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири (Новосибирск, 1979 г.). Часть III. Четвертичная система. Объяснительные записки к региональным стратиграфическим схемам четвертичных отложений Средней Сибири. – Л.: ВСЕГЕИ, 1983. – 84 с.
7. *Русанов Г. Г.* Разрез Чаган (юго-восточный Алтай): строение и реконструкция условий осадконакопления // Изв. РГО. – 2011. – Т. 143, вып. 1. – С. 67–72.
8. *Русанов Г. Г., Важов С. В.* Опорные разрезы четвертичных отложений Горного Алтая (Беле, Кубадру, Чаган). Алтайская гос. академия образования им. В. М. Шукшина. – Бийск: ФГБОУ ВПО «АГАО», 2014. – 163 с.
9. *Шейнкман В. С.* Возрастная диагностика отложений Горного Алтая и их тестирование на разрезах Мертвого моря // Материалы гляциологических исследований. Вып. 93. – М., 2002. – С. 41–55.
10. *Щукина Е. Н.* Закономерности размещения четвертичных отложений и стратиграфия их на территории Алтая // Стратиграфия четвертичных (антропогенных) отложений Азиатской части СССР и их сопоставление с Европейскими: Труды Геологического института. Вып. 26, 1960. – С. 127–164.
11. *Agatova A. R., Nepoch R. K.* Pleistocene glaciation of the SE Altai, Russia, based on geomorphological data and absolute dating of glacial deposits Chagan reference section // Geochronometria. – 2017. – Vol. 44. – P. 49–65.

# СПЕЦИФИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГИПСОСодЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

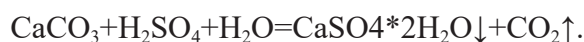
Г. Б. Поспехов, В. А. Изотова, Л. П. Норова

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург, violettaizotova@yandex.ru

В работе дается микроскопическое описание образцов и результаты определения их гранулометрического состава, полученные разными методами: 1) микроскопический; 2) седиментационный (ареометрический и пипеточный); 3) метод лазерной дифракции. Обсуждается специфика изучения гранулометрического состава техногенных образований при инженерно-геологических исследованиях.

В настоящее время актуальной проблемой на территории Российской Федерации является утилизация неостребованной и низкосортной концентрированной серной кислоты на многих предприятиях горной, металлургической, химической и других промышленности [3]. Разработано и реализуется несколько способов ее утилизации, в том числе: 1) использование кислоты в других производствах; 2) регенерация отходов с целью получения более пригодной серной кислоты; 3) нейтрализация кислоты щелочами (в т. ч. известняком) [6].

В качестве объекта исследования авторами выбраны гипсосодержащие отходы нейтрализации серной кислоты известняком. Известно, что процесс нейтрализации описывается уравнением:



В результате реакции образуется кристаллогидрат двуводного гипса, основу фазового состава которого составляет гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), в осадке также присутствуют кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ),  $\alpha$ -кварц ( $\alpha\text{-SiO}_2$ ) и следы доломита ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) [6]. Визуально эти отходы представляют собой влажные, водонасыщенные порошки или шламы с характерным цветом и запахом.

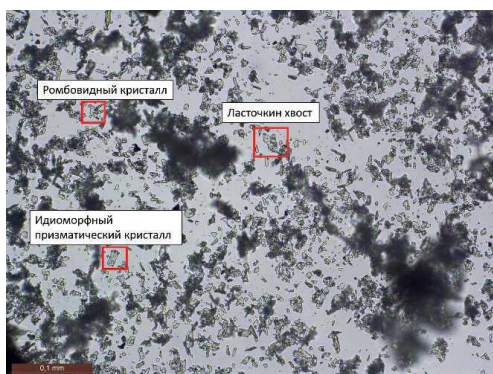


Рис. 1. Образец 1 при параллельных николях со шкалой 0,1 мм

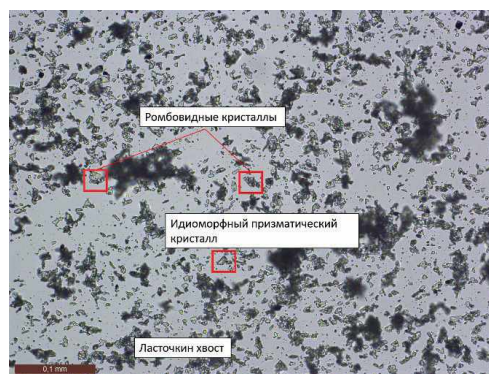


Рис. 2. Образец 2 при параллельных николях со шкалой 0,1 мм

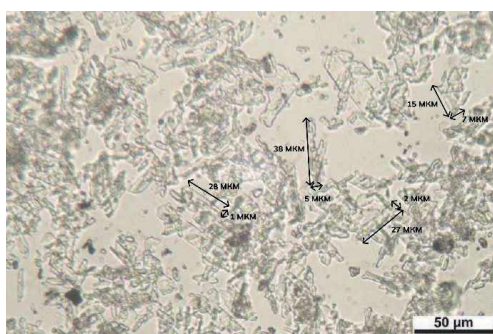


Рис. 3. Образец 1 при параллельных николях со шкалой 50 мкм

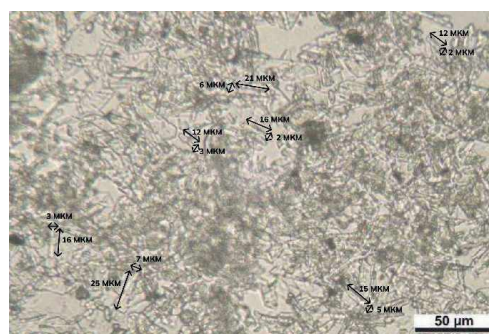


Рис. 4. Образец 2 при параллельных николях со шкалой 50 мкм



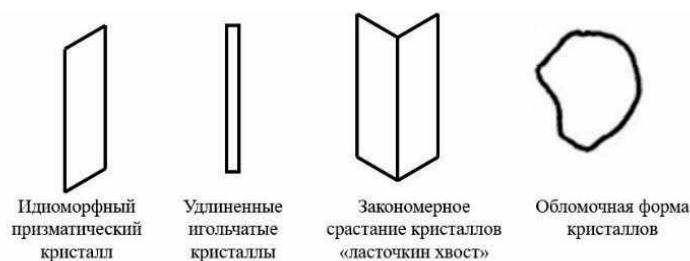


Рис. 5. Формы зерен гипсосодержащего отхода

Данный гипсосодержащий продукт находит практическое применение в народном хозяйстве в малом объеме, а большая его часть размещается в отвалы, формируя на земной поверхности техногенные массивы. Для корректной оценки устойчивости объектов складирования и комплексного использования полученного сырья, в целях снижения воздействия на окружающую среду необходимо разрабатывать численные гидрогеомеханические модели гипсохранилищ с выполнением прогноза его вместимости и устойчивости ограждающей дамбы при поэтапном наращивании.

Для качественного определения размера частиц использовали микроскопический метод, сущность которого заключается в непосредственном определении размеров частиц с помощью обычного микроскопа. Благодаря этому методу мы можем определить форму кристаллов и использовать эти данные для других методов исследования.

Съемка шлифов проводилась на поляризационном исследовательском микроскопе Leica DM2700P с выводом данных на ПК.

На рис. 1–4 представлены соответственно изображения образцов 1 и 2 гипсосодержащих отходов при параллельных николях со шкалой 50 мкм и 0,1 мм. Видно, что для образцов характерны кристаллы таблитчатой, пластинчатой, столбчатой и игольчатой форм. Микрорис. кристаллы гипса столбчатой формы имеют размеры: в ширину от 2,0 до 7,0 мкм, в длину от 3–5 мкм до 30 мкм. Присутствуют таблитчатые кристаллы гипса, которые в ширину достигают 7–9 мкм и игольчатые кристаллы шириной до 2 мкм. Основной объем шлифа занимают ксеноморфные обломочные зерна (от 2 до 8 мкм в диаметре).

Стоит обратить внимание на двойники кристаллов, которые в минералогии имеют название «ласточкин хвост». Основные формы зерен гипсосодержащего отхода представлены на рис. 5.

Таблица 1

Гранулометрический состав гипсосодержащего отхода, полученный ареометрическим методом (составлено автором)

Номер образца	I <sub>p</sub>	Кол-во Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> *10H <sub>2</sub> O	Ареометрический метод									
			C <sub>v</sub> по 1 образцу	d <sub>50</sub>	Размер фракций, мм							
					2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	<0,002
Образец 1.1	0,113	0мл	0,22	0,031	-	0,13	0,09	8,82	24,94	53,35	0,67	12,00
Образец 1.2		5мл		0,024	-	-	0,10	7,71	13,68	55,51	6,34	16,65
Образец 1.3		10мл		0,025	-	-	-	8,01	18,29	54,26	2,43	17,01
Образец 1.4		25мл		0,018	-	0,05	0,10	7,59	10,06	55,33	4,74	22,13
Образец 2.1	0,119	0мл	0,16	0,027	-	-	0,08	0,59	26,85	57,10	0,73	14,64
Образец 2.2		5мл		0,024	-	-	0,10	0,63	19,26	59,98	2,50	17,49
Образец 2.3		10мл		0,023	-	-	-	0,76	15,60	65,19	2,30	16,11
Образец 2.4		25мл		0,018	-	-	0,00	0,59	14,00	60,59	5,11	19,71
Образец 3.1	0,088	0мл	0,05	0,025	-	-	-	-	19,60	69,13	1,54	9,73
Образец 3.2		5мл		0,023	-	-	-	-	17,43	72,25	0,52	9,81
Образец 3.3		10мл		0,024	-	-	-	-	19,05	70,83	1,01	9,11
Образец 3.4.		25мл		0,022	-	-	-	-	12,13	79,70	3,07	5,11

\*I<sub>p</sub> – число пластичности; d<sub>50</sub> – диаметр частиц, меньше которого в грунте содержится 50 % массы частиц; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации; Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>\*10H<sub>2</sub>O – пирофосфат натрия

Основным фактором, влияющим на результаты определения гранулометрического состава седиментационными методами, является подготовка грунта к анализу. Суспензия, приготовленная из засоленных разностей, коагулирует, поэтому их гранулометрический анализ всегда вызывает затруднения или становится даже невозможным. Для выполнения гранулометрического анализа засоленных образцов следует устранить коагуляцию, т. е. провести определенную пробоподготовку [2; 4]. Процесс пробоподготовки может включать один из следующих способов: 1) приготовление суспензии малой концентрации (пипеточный метод); 2) отмывание солей из суспензии-декантацией (не выполнялся, так как по минеральному составу 98 % породы это – гипс); 3) применение стабилизаторов суспензии (пирофосфорнокислый натрий) [5].

Таблица 2

Гранулометрический состав гипсодержащего отхода, полученный пипеточным методом (составлено автором)

Номер образца	I <sub>p</sub>	Кол-во Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> *10H <sub>2</sub> O	Пипеточный метод									
			C <sub>v</sub> по 1 образцу	d <sub>50</sub>	Размер фракций, мм							
					2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	<0,002
Образец 1.1	0,113	0мл	0,10	0,031	-	-	-	3,64	35,87	43,71	0,48	16,29
Образец 1.2		5мл		0,024	-	-	-	5,51	30,25	49,46	0,11	14,67
Образец 1.3		10мл		0,025	-	-	-	5,70	29,66	49,61	0,18	14,84
Образец 1.4		25мл		0,018	-	-	-	5,12	26,08	54,88	0,30	13,62
Образец 2.1	0,119	0мл	0,04	0,027	-	-	-	-	17,79	65,75	0,81	15,65
Образец 2.2		5мл		0,024	-	-	-	-	16,75	68,12	0,65	14,48
Образец 2.3		10мл		0,023	-	-	-	-	19,26	66,51	0,22	14,01
Образец 2.4		25мл		0,018	-	-	-	-	16,66	69,90	0,71	12,73
Образец 3.1	0,088	0мл	0,05	0,025	-	-	-	3,13	23,81	58,85	0,83	13,37
Образец 3.2		5мл		0,023	-	-	-	3,94	24,12	60,13	0,42	11,40
Образец 3.3		10мл		0,024	-	-	-	4,26	23,76	59,18	0,75	12,04
Образец 3.4.		25мл		0,022	-	-	-	3,38	24,21	61,66	0,24	10,52

\*I<sub>p</sub> – число пластичности; d<sub>50</sub> – диаметр частиц, меньше которого в грунте содержится 50 % массы частиц; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации; Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>\*10H<sub>2</sub>O – пирофосфат натрия

Таблица 3

Гранулометрический состав гипсодержащего отхода, полученный методом лазерной дифракции (составлено автором)

Номер образца	I <sub>p</sub>	Метод лазерной дифракции									
		C <sub>v</sub> по 1 образцу	d <sub>50</sub>	Размер фракций, мм							
				2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	<0,002
Образец 1.1	0,113	0,07	0,033	-	-	0,51	13,91	25,57	18,86	19,24	21,91
Образец 1.2			0,030	-	-	0,20	12,10	28,80	16,90	18,30	23,70
Образец 1.3			0,035	-	-	-	18,40	20,30	19,20	13,70	28,40
Образец 1.4			0,031	-	-	0,70	10,00	30,20	24,20	13,70	21,20
Образец 2.1	0,119	0,18	0,007	-	-	0,87	10,57	14,12	21,72	26,84	25,88
Образец 2.2			0,009	-	-	0,50	13,40	11,80	25,10	21,90	27,30
Образец 2.3			0,008	-	-	0,30	11,00	16,80	26,40	23,10	22,40
Образец 2.4			0,007	-	-	0,70	14,20	13,90	24,50	20,20	26,50
Образец 3.1	0,088	0,03	0,046	-	-	0,93	18,0	31,7	16,9	13,9	18,6
Образец 3.2			0,047	-	-	0,94	11,6	19,9	26,7	24,4	16,5
Образец 3.3			0,048	-	-	-	5,5	18,6	26,3	32,9	16,6
Образец 3.4.			0,047	-	-	-	7,6	19,7	24,0	23,3	25,4

\*I<sub>p</sub> – число пластичности; d<sub>50</sub> – диаметр частиц, меньше которого в грунте содержится 50 % массы частиц; C<sub>v</sub> – коэффициент вариации; Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>\*10H<sub>2</sub>O – пирофосфат натрия

Для изучения гранулометрического состава гипсодержащих отходов и выделения фракций <0,1 мм выполнялась стандартная пробоподготовка путем кипячения пробы в воде с добавлением 1 мл 25 % аммиака  $\text{NH}_4\text{OH}$  и последующим добавлением стабилизатора грунта – водного пиродифосфорнокислого натрия ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) разного объема. Проводили так называемую стандартную диспергацию [1; 5].

При использовании метода лазерной дифракции исследуемые пробы гипсодержащего отхода дополнительно обрабатывались ультразвуком и выполнялось сравнение его гранулометрического состава до и после использования ультразвукового сигнала [7]. Результаты гранулометрического анализа представлены в табл. 1–3.

По результатам определения гранулометрического состава можно говорить о том, что глинистых частиц размером <0,002 мм становится больше за счет диспергации агрегатов частиц при большем объеме  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .

Согласно классификации гранулометрического состава, предложенной В. В. Охотиным, образцы 1, 2 и 3 относятся к суглинку легкому пылеватому по пипеточному и ареометрическому методам, а по методу лазерной дифракции образцы 1 и 2 относятся к суглинку тяжелому пылеватому, а образец 3 – к суглинку среднему пылеватому.

Можно сделать следующие выводы.

1. Количественное определение гранулометрического состава исследуемых образцов микроскопическим методом затруднительно, но их изучение под микроскопом позволило получить информацию о размерах и формах зерен гипсодержащего отхода.

2. При использовании метода лазерной дифракции необходима дополнительная обработка исследуемых проб гипсодержащего отхода ультразвуком и сравнение его гранулометрического состава до и после использования ультразвукового сигнала [7].

3. Для седиментационных методов гранулометрического анализа гипсодержащих отходов важна пробоподготовка грунта; количество  $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  влияет на полученный результат.

### Литература

1. Болдырева В. Э., Безуглова О. С., Морозов И. В. К вопросу об определении гранулометрического состава почв с использованием метода лазерной дифракции // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2019. – № 1(33). – С. 184–194.
2. Буданова Т. Е. Современные методы изучения гранулометрического состава грунтов // Инженерные изыскания. – 2013. – № 8. – С. 66–71.
3. Взородов С. А. Особенности процесса нейтрализации технической серной кислоты природным известняком // Бултеровские сообщения. – 2019. – Т. 58, № 4. – С. 110–118.
4. Здобин Д. Ю., Семенова Л. К. О гранулометрическом анализе глинистых грунтов: лазерные и классические методы // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2011. – № 6. – С. 560–567.
5. Новожилов В. Н., Шульц И. Н. Влияние способа подготовки породы к анализу на определение гранулометрического состава, удельного веса и пределов пластичности // Записки Горного института. – 1955. – Т. 2, № 32. – С. 166.
6. Прокудина Е. В., Тропников Д. Л., Каратаев А. В. и др. Нейтрализация технической серной кислоты природным известняком на ОАО «Святогор» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 8. – С. 340–345.
7. Трофимов В. Т., Королев В. А., Николаева С. К. К вопросу об определении гранулометрического состава грунтов с использованием лазерных анализаторов // Инженерные изыскания. – 2014. – № 5–6. – С. 29–37.

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ ЛИМНИЯ БЕЛОГОРСКОЙ СВИТЫ КВАРТЕРА В ДОЛИНЕ РЕКИ ЗЕЯ (АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

А. В. Колбанова, О. А. Никольская

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, a.gerasicheva@gmail.com*

Белогорская свита была выделена Ю. Ф. Чемяковым с соавторами [1960] в Томском Белогорье. В стратотипе представлена песками, галечниками, глинами, алевролитами. Генезис образований предполагался аллювиальным, возраст определялся как плиоцен-нижнечетвертичный.

С середины 1960-х годов в ходе составления Государственной геологической карты первого поколения масштаба 1 : 200 000 многочисленными скважинами установлено площадное распространение рыхлых образований в пределах Амуро-Зейской равнины. Все эти осадки предшественниками были отнесены к белогорской свите. Также были выделены две подсвиты – нижняя, более грубая песчано-галечная аллювиальная, и верхняя, более тонкая песчано-алевритистая озерно-аллювиальная.

В легенде Дальневосточной серии ГК-1000/3 образования белогорской свиты коррелируются с образованиями суйфунской свиты, выделенной Б. И. Павлюткиным в Прихантайской впадине в 1000 км от района исследований [3]. В результате дальнейших исследований возраст образований суйфунской свиты был определен как эоплейстоценовый [1; 2]. Это изменение возраста коснулось и коррелируемых с суйфунской свитой образований, в том числе и белогорской свиты.

Верхняя часть разреза образований белогорской свиты была изучена авторами в ходе полевых работ 2019 г. при составлении Государственной геологической карты второго поколения масштаба 1 : 200 000.

Лимний белогорской свиты в карьере Пионер залегает на терригенных образованиях юры. Основание разреза сложено глинами видимой мощностью 4–5 м. Выше залегают мелкозернистые пески с однонаправленной косою слоистостью (направление палеотечения – юго-восток), с намывным растительным детритом общей мощностью 10–15 м. Венчается разрез грубозернистыми песками с гравием и галькой мощностью до 20 м. Общая мощность лимния – 40 м, абс. отм. кровли – около 320 м. Здесь, вероятно, представлена регрессивная последовательность образований дельты, сформировавшаяся в процессе заполнения осадками озерной котловины при поступлении большого количества обломочного материала с северо-запада. По пескам из верхних 15 м разреза было получено 4 ОСЛ-возраста от 120 до 86 тыс. лет.

Лимний в карьере Бургули представлен песками с параллельной слоистостью, вскрытая мощность отложений – 10 м. По пескам было получено два ОСЛ-возраста: 98 и 87 тыс. лет.

Описанные разрезы приурочены к толще осадков, формирующих единую равнину, и, несмотря на то, что расстояния между разрезами около 70 км, полученные ОСЛ возрасты составляют единую последовательность.

Современными исследованиями установлено неоднократное образование подпрудных озер в бассейне р. Амур в позднемеозойско-кайнозойское время [4]. По всей видимости, аналогичные процессы происходили и в позднем неоплейстоцене. Судя по всему, подпруда образовалась в результате неотектонических движений в течение первого термохрона позднего неоплейстоцена, и просуществовала достаточно долго, захватив и последующий криохрон. Вероятно, порог стока водоема находился в наиболее низкой части хребта между Амуро-Зейской равниной и впадиной Суньяля (территория Китая), откуда вода стекала, по всей видимости, в Среднеамурскую впадину.

Озеро существовало в начале позднего неоплейстоцена и было последним из возможной серии подпрудных озер, периодически заполнявших межгорные котловины Дальнего Востока.

Нерешенным остается главный вопрос – относятся ли осадки, формирующие поверхность Амуро-Зейской равнины, к верхней части белогорской свиты, или же необходимо выделение самостоятельной стратиграфической единицы. Для его решения необходимы дальнейшие, в первую очередь, полевые исследования.

### Литература

1. Павлюткин Б. И., Боровский А. Д., Белянина Н. И. Нижний плейстоцен Приморья // Стратиграфия и корреляция четвертичных отложений Азии и Тихоокеанского региона. – М. : Наука, 1991. – С. 73–80.
2. Павлюткин Б. И., Петренко Т. И. Стратиграфия палеоген-неогеновых отложений Приморья. – Владивосток : Дальнаука, 2010. – 84 с.
3. Павлюткин Б. И., Петренко Т. И., Белянина Н. И. Новые данные о возрасте суйфунской и усть-суйфунской свит (Западное Приморье) // Тихоокеанская геология. – 1988. – № 4. – С. 92–100.
4. Сорокин А. П., Махинов А. Н., Воронов Б. А. и др. Эволюция бассейна Амура в мезозое–кайнозое и ее отражение в современной динамике рельефа // Вестник ДВО РАН. – 2010. – № 3. – С. 72–80.
5. Чемяков Ю. Ф. Геоморфология Приамурья и смежных территорий // Объяснительная записка к геоморфологической карте Приамурья и смежных территорий масштаба 1 : 500 000. – М. : Госгеолтехиздат, 1960. – 154 с.

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ТАЙМЫРА В ВЕРХНЕМ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ

Д. Н. Костин

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, dmitriy\_kostin\_spb@mail.ru*

Исследованиям палеогеографической обстановки Таймыра в позднем неоплейстоцене и, соответственно, верхнечетвертичным отложениям посвящено значительное количество работ [1; 5; 8–10]. Так, одной из главных проблем остается время и динамика формирования краевых ледниковых образований Карского ледникового щита в период его отступления с территории п-ова Таймыр в середине позднего неоплейстоцена – около 60 тыс. лет назад и в период последнего ледникового максимума (LGM) – около 20 тыс. лет назад. Тем не менее район северо-западного Таймыра по-прежнему слабо представлен в тематике исследований и остается белым пятном относительно остальной территории полуострова. Отдельные исследования по изучению четвертичных отложений не могли полноценно охватить данную территорию и представлены единичными обнажениями [2–4; 6; 7]. В свою очередь последние геологосъемочные работы для составления комплекта ГК-200, проводившиеся здесь в период с 1997 по 1999 год, не были доведены до конца из-за прекращения финансирования.

С 2017 по 2020 год на исследуемой площади проводились детальные геологосъемочные работы масштаба 1 : 200 000 по изучению четвертичных отложений. Данные отложения (кроме детального литологического описания) были опробованы для проведения геохронометрических исследований. Так, в эстуарии рек Широкая и Диоритовая была описана 20-метровая толща мариния, представленная в верхней части монотонными плотными темно-серыми алевролитами, подстилающаяся 3-метровой пачкой параллельнослоистых песков с фауной *Portlandia arctica* Gray, 1824 *in situ*, для которых было получено пять ОСЛ-возрастов – от 80 до 100 тыс. лет.

В свою очередь с преобладаем ледниковых отложений в ходе работ были выделены два ключевых участка – п-ов Михайлова и среднее течение р. Гусиная, где заверялись работы предшественников [7]. Кроме них на территории были описаны крупные озовые гряды с относительной высотой до 20–25 м, ориентированных в северо-западном направлении. Самый протяженный (более 25 км) оз, хорошо выделяющийся как на космоснимках, так в рельефе местности, был изучен и прослежен несколькими маршрутами. Данная гляциофлювиальная гряда, следуя вдоль долины р. Блудная и пересекая водораздельную возвышенность,

переходит в верховье долины р. Диоритовая, где раздваивается и одной частью продолжается в северо-западном направлении, а другой спускается в виде останцов по долине р. Диоритовая и обрывается на уровне 50 м над у. м. Результат датирования песков из данной гряды методом ОСЛ показал запредельный возраст >77 тыс. лет по кварцу и >201 тыс. лет по полевым шпатам. Западнее, в долине р. Широкая была описана гляциофлювиальная гряда, которая также представлена останцами в виде вытянутых вдоль реки возвышенностей и протяженностью около 6 км и относительной высотой 15–20 м.

В долине р. Скалистая гляциофлювиальные образования представлены крупными террасовидными холмами и отдельными конусообразными возвышенностями, сложенные переслаивающимися пачками из грубозернистых песков, гравия, среднеокатанных галек и вмещают хорошоокатанные обломки раковин моллюсков. Из данных отложений было получено два ОСЛ-возраста –  $52 \pm 6$  тыс. лет и  $54 \pm 6$  тыс. лет. Еще одна датировка была получена в обнажении в верховьях р. Тревожная, где из прислоненной к склону террасовидного останца, отложения которой представлены песками и галькой с обломками макрофауны, была получена датировка в  $76 \pm 12$  тыс. лет.

Геоморфологически выраженные гляциофлювиальные гряды, их северо-западная ориентировка и области развития останцов камовых террас в сумме с абсолютными датировками указывают на покровный характер оледенения с центром на шельфе Карского моря. Выделенная толща морены, слагающая цоколь п-ова Михайлова также согласуется с современными моделями распространения краевой ледниковой зоны Карского ледникового щита в середине позднего неоплейстоцена на территории п-ова Таймыр [5; 8; 9].

*Финансирование. Работа выполнена в рамках ГДП-200 листов S-45-XI, XII (Ленивенская площадь) и S-45-IX, X, XV, XVI (Мининская площадь) в рамках объекта «Проведение в 2017–2021 г. региональных геологосъемочных работ масштаба 1 : 200 000 на группу листов в пределах Сибирского федерального округа».*

## Литература

1. Антропоген Таймыра / Под ред. Б. Н. Кинд, В. Н. Леонова. – М. : «Наука», 1982. – 182 с.
2. Басов В. А., Дибнер В. Д. Фаунистическая характеристика отложений 120–140-метровой морской террасы в низовьях р. Ленивой (берег Харитона Лаптева) // Сб. статей по палеонтологии и биостратиграфии, вып. 28. – Л. : Изд-во НИИГА, 1962. – С. 42–50.
3. Гусев Е. А., Максимов Ф. Е., Молодьков А. Н. и др. Новые геохронологические данные по неоплейстоценово-голоценовым отложениям Западного Таймыра и островам Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2016. – № 3 (109). – С. 74–84.
4. Павлов М. В., Федоров Г. Б., Большианов Д. Ю. и др. Новые данные о строении четвертичных отложений и палеогеографии архипелага Северная Земля и Северного Таймыра // Природные ресурсы Таймыра. Вып. 2. – Дудинка, 2004. – С. 245–257.
5. Alexanderson H., Adrielsson L., Hjort C. et al. The depositional history of the North Taymyr ice-marginal zone, Siberia – a landsystem approach // J. Quat. Sci. – 2002. – Vol. 17. – P. 361–382.
6. Antonov O., Bolshiyarov D., Kulakov S. et al. Quaternary deposits of the Western Taymyr according to results of 2000–2001 field investigations // Abstracts of Sixth QUEEN Workshop (May 24–28). – Spiez ; Switzerland, 2002. – P. 4.
7. Hjort C., Funder S. Mountain derived versus shelf based glaciations on the western Taymyr Peninsula // Polar Res. – 2008. – Vol. 27. – P. 152–161.
8. Moller P., Alexanderson H., Funder S. et al. The Taimyr Peninsula and the Severnaya Zemlya archipelago, Arctic Russia: a synthesis of glacial history and palaeo-environmental change during the Last Glacial cycle (MIS 5e – 2) // Quaternary Science Reviews. – 2015. – Vol. 107. – P. 149–181.
9. Moller P., Benediktsson I. O., Anjar J. et al. Glacial history and palaeo-environmental change of southern Taimyr Peninsula, Arctic Russia, during the Middle and Late Pleistocene // Earth-Science Reviews. – 2019. – Vol. 196.
10. Svendsen J. I., Alexanderson H., Astakhov V. I. et al. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia // Quat. Sci. Rev. – 2004. – Vol. 23. – P. 1229–1271.

## БЭРОВСКИЕ БУГРЫ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ: НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д. М. Лобачева<sup>1</sup>, В. В. Фомин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
географический факультет, Москва, [lobachevadm@ty.msu.ru](mailto:lobachevadm@ty.msu.ru)  
<sup>2</sup>Государственный океанографический институт им. Н. Н. Зубова, Москва

В Северном Прикаспии широко распространены уникальные грядовые формы рельефа – бугры Бэра, получившие свое название в честь естествоиспытателя Карла фон Бэра. Ученый впервые дал описание параметрических характеристик и способа возникновения этих форм рельефа в 1856 г. Несмотря на длительную историю изучения [1–10], происхождение бугров Бэра, время и условия их формирования до настоящего времени остаются нерешенными вопросами геоморфологии и палеогеографии Каспийского региона. Выделяется девять групп гипотез их происхождения. Слагающий гряды материал, особенности его залегания и ориентировки слоев (основного источника палеогеоморфологической информации) трактуются исследователями по-разному. Задача доклада – представить первые результаты математического моделирования, примененные для воссоздания литодинамических изменений и процессов, приводящих к возникновению данных неординарных форм рельефа.

Одним из новых подходов к исследованию бугров Бэра стало математическое моделирование процессов, их образующих, при помощи модели Badlands – Basin & Landscape Dynamics. Моделирование проводилось с помощью языков программирования Python и Fortran в виртуальной среде Anaconda и Visual Code. Моделирование экспериментов осуществлялось совместно с коллегами из ГОИН им. Н. Н. Зубова. Учитывались различные процессы, такие как склоновые, флювиальные, вдольбереговые волновые течения, эффект от изменения климата, гравитационные течения. Тектонические процессы не учитывались. Область моделирования захватывала Нижнее Поволжье ниже абс. отм. высоты 0 м.

В настоящей работе для моделирования процессов, наблюдающихся в прибрежной зоне с подвижной линией уреза, значительными колебаниями среднемноголетнего уровня моря, величина которых достигает 30 м, используется фреймворк Badlands [13]. Преимуществом фреймворка Badlands является возможность его использования в прибрежной морской зоне. Badlands позволяет более корректно описывать взаимосвязи между наземной и морской компонентами, чем прочие модели.

Период моделирования составил 1000 лет. Область моделирования охватывает район размером  $\sim 225 \times 335$  км по долготе и широте соответственно. Пространственное разрешение модели составило  $\sim 200$  м. Большая часть расчетной области расположена западнее русла дельты Волги (по состоянию на настоящее время) и охватывает регион, в котором высоты изменяются от  $-28$  м в юго-восточной части до  $2-3$  м абс. в северо-западной ее части. Выбор указанного региона обусловлен обширным пространственным расположением бэровских бугров, наблюдаемых визуально на основе спутниковой информации в юго-восточной и северной частях региона. При отсутствии учета процессов, происходящих в морской акватории, значимые деформации дна не наблюдаются (ветровая эрозия, тектонические процессы).

Моделирование проводилось для двух сценариев изменения уровня Каспийского моря (далее, С1 и С2). В рамках сценария С1 рассматривалось линейное падение уровня моря от 0 м до минус 28 м, в рамках сценария С2 рассматривался ход уровня моря, при котором на отдельных его участках наблюдалось линейное падение, которое сменялось незначительным подъемом (в несколько метров), а далее, наблюдался стационарный период, при котором уровень некоторое время оставался постоянным [14]. Скорость линейного падения составляла примерно  $2,8$  см/год. В рамках эксперимента С2 период моделирования продолжительностью 1000 лет включал два периода стагнации уровня моря на отметках  $-11$  и  $-16$  м.

Сопоставление и анализ результатов расчетов в рамках сценария С1 с учетом (рис. 1, а) и без учета (рис. 1, б) ветроволновых процессов показывает, что вертикальные деформации претерпевают значительные изменения, вызванные влиянием ветроволновых условий. Механизм процесса следующий: общеизвестно, что морфолитодинамические процессы на морской акватории наиболее интенсивны в приурезовой зоне и затрагивают, как правило, зону пляжа и приурезовую область морской акватории. Наибольшая их интенсивность наблюдается до глубин в 7–10 м, в акваториях со значительной интенсивностью и высокой частотой прохождения штормовых ситуаций значимые вертикальные деформации дна могут наблюдаться и на значительно больших глубинах. Для рассматриваемого региона в рамках проведенных численных экспериментов линия уреза воды является не постоянной, а постоянно изменяющейся, наблюдается постепенное отступление берега, вызванное медленным опусканием среднегодового уровня Каспийского моря с отметки в 0 м до минус 28 м (при более низких отметках тренд остается прежним). Это отступление приводит к постоянному смещению полосы, в которой под действием ветроволновых процессов будут наблюдаться как максимальные вдольбереговые потоки наносов, так и, соответственно, максимальные литодеформации дна и берега. Под действием ветроволновых процессов происходит постепенное переформирование линии уреза, которое заключается (традиционно), в образовании террас на пляже и подводных баров, эрозии дна на отдельных участках.

В рамках работы было проведено исследование влияния ветра на возможность образования пространственных структур различной формы на открытой поверхности суши. Моделирование проводилось с использованием подхода, изложенного в работах [11–12]. В основе процесса переноса частиц ветром лежит алгоритм, в котором перенос частиц рассматривается в виде «пластов», состоящих из множества частиц, которые подбираются случайным образом, переносятся в заданном направлении под действием ветра и оседают с вероятностью, зависящей от наличия или отсутствия переносимого материала или в теневых областях с подветренной стороны образующихся гряд.

Механизм образования подобных форм в условиях прибрежной зоны Каспийского моря может быть следующим: при постепенном опускании уровня моря и при постоянном выносе материала речным стоком в прибрежной зоне может формироваться осадочный материал, который

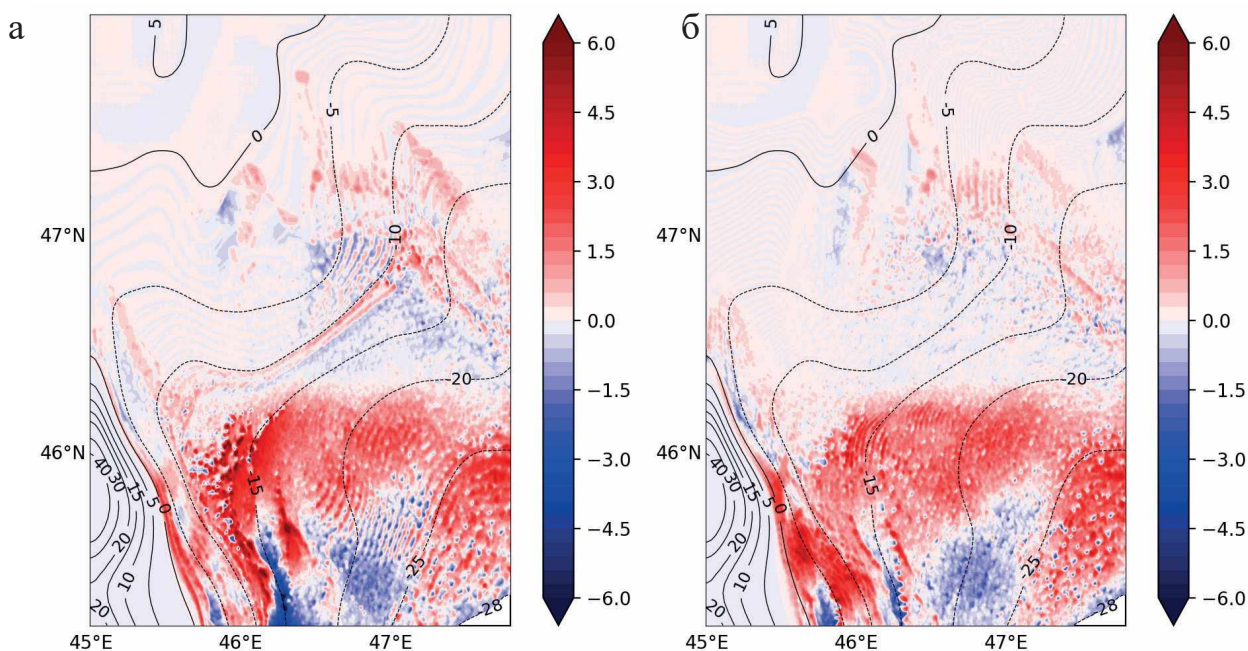
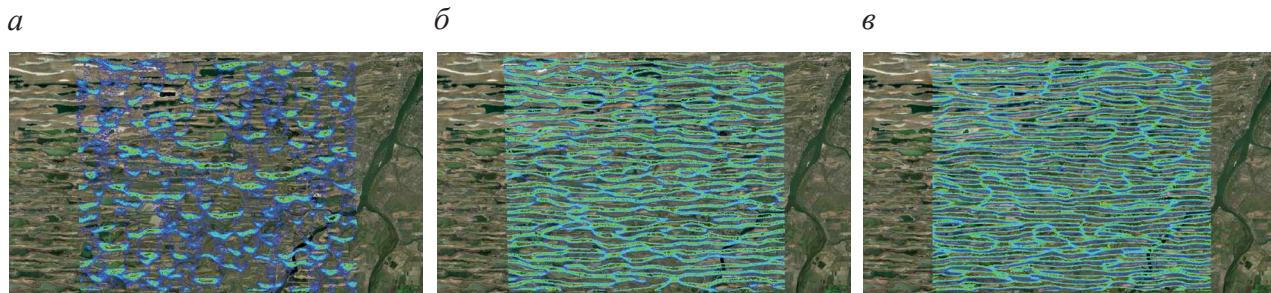


Рис. 1. Амплитуды вертикальные деформаций (м) для района моделирования за период в 1000 лет в рамках сценария С1 (а) и С2 (б) с учетом ветроволнового воздействия в прибрежной зоне





**Рис. 2. Результаты расчета топографии суши под действием ветра и вследствие ветровой эрозии при толщине эрозионного слоя: а – 1 м, б – 3 м, в – 5 м**

при отступании берега начинает переиваться под действием ветра. Данный перенос формирует дюны, которые при отсутствии верхнего слоя, препятствующего переносу, начинают мигрировать в прибрежной зоне. Анализ результатов расчетов показывает, что вертикальная высота образованных таким образом дюн, может достигать 13–16 м, максимальное правдоподобие и их соответствие по форме и масштабу бэровским буграм по результатам расчетов наблюдается при толщине эрозионного слоя в 3 м (рис. 2). Отличие наблюдаемых бугров от дюн заключается в их стационарности, при этом, непосредственно, воздействие ветра постоянного направления при наличии переносимого материала предполагает постоянную миграцию дюн и, соответственно, их постоянное перемещение.

В качестве результатов получилось следующее. Учет волновых процессов позволяет воспроизвести вдольбереговые прибрежные течения, их интенсивности достаточно для переформирования рельефа дна. При опускании уровня моря основное воздействие происходит в районе линии уреза, ее постепенное смещение приводит к изменению области воздействия и возможному постепенному формированию бэровских бугров. Формы, ориентация гряд будут зависеть от направления волнения, ориентации изобат дна, скорости (а также форме кривой) опускания уровня моря. На акватории возможны как аккумулятивные, так и эрозионные процессы, соответственно процесс не однонаправлен.

На данный момент выяснился ряд проблем, которые требуют дополнительных экспериментов. Ориентация воспроизводимых гряд далеко не во всей области соответствует наблюдаемой. Это может быть связано с некорректными глубинами, используемыми в качестве исходных (для рассматриваемого периода по времени, возможно, глубины в морской части (изобаты) были расположены по-другому). Также на ориентацию влияет и задаваемый волновой климат, его направление, интенсивность.

На рассматриваемом масштабе по времени размеры гряд по вертикали составляют до 2–4 м, т. е. ниже наблюдаемых (если предполагать, что модель может давать обоснованные результаты, то либо это не единственный процесс, ответственный за формирование бэровских бугров, либо необходимо изменять период моделирования/более точно учитывать климатические характеристики). В расчетах не учитываются течения, формируемые ветровым режимом (сейчас проводится анализ, возможно, получится добавить соответствующую параметризацию в модель). В модели также не учитываются эрозионные ветровые процессы.

Таким образом, по результатам математического моделирования в среде Badlands – Basin & Landscape Dynamics были получены следующие выводы. Численные эксперименты показали, что ветроволновые процессы с учетом изменения среднегодового уровня моря приводят к значительным изменениям в вертикальных и плановых деформациях топографии дна. Они имеют меньшие амплитуды в северной части региона, где из-за более пологого склона интенсивность волнения ослабевает, более интенсивные деформации дна происходят в области глубин –10 м и глубже. Образуются узкие вытянутые структуры с общим размахом вертикальных изменений в 6–9 м от тальвега до гребня. Данный механизм определенно вносит вклад в формирование рельефа бэровских бугров.

Бугры Бэра – аккумулятивно-эрозионные формы комплексного генезиса. Реликтовой основой служит рельеф, образовавшийся на морском мелководье при ветроволновом воздействии и одновременном спаде уровня моря. После этого рельеф был переверен и возникли эоловые формы рельефа – линейные и поперечные эоловые дюны. Скорости течений, возникающие в акватории из-за постепенного понижения уровня моря на масштабах 100–1000 лет, не могут приводить к каким-либо значимым изменениям дна и, соответственно, к формированию бэровских бугров.

### Литература

1. Федорович Б. А. Происхождение «бэровских бугров» Прикаспия // Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. – 1941. – № 1. – С. 72–86.
2. Иванова Г. А. К вопросу о происхождении бэровских бугров // Тр. Ин-та геогр. АН СССР. – 1952. – Т. 51. – С. 277–391.
3. Якубов Т. Ф. Происхождение Бэровских бугров в Прикаспийской низменности // Тр. Ин-та географии АН СССР. – 1952. – Т. 51. – С. 253–277.
4. Леонтьев О. К., Фотеева Н. Н. Происхождение и возраст бэровских бугров // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1965. – № 2. – С. 90–97.
5. Рычагов Г. И. Новые данные о генезисе и возрасте бэровских бугров // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. – 2009. – № 5. – С. 59–68.
6. Свиточ А. А., Клювиткина Т. С. Бэровские бугры Нижнего Поволжья. – М. : Российская академия сельскохозяйственных наук, 2006. – 159 с.
7. Сладкопевцев С. А. О происхождении бугров Бэра // Вестник Московского ун-та. Сер. 5. Геогр. – 1965. – № 1. – С. 80–84.
8. Бадюкова Е. Н. Еще раз о генезисе бэровских бугров // Вестник Московского ун-та. Сер. 5. География. – 1999. – № 4. – С. 52–61.
9. Белевич Е. Ф. О происхождении бугров Бэра // Геоморфология. – 1979. – № 2. – С. 57–68.
10. Жиндарев Л. А., Никифоров Л. Г., Рычагов Г. И. Морфолитодинамика береговой зоны приустьевых областей и проблема происхождения бэровских бугров // Вестник МГУ. Серия 5. География. – 2001. – № 1. – С. 44–52.
11. Vaas A.C.W. Chaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments // Geomorphology. – 2002. – Vol. 48. – P. 309–328.
12. Bishop S. R. et al. Modelling Desert Dune Fields Based on Discrete Dynamics // Discrete Dynamics in Nature and Society. – 2002. – P. 7–17.
13. Salles T., Hardiman L. Badlands: An open-source, flexible and parallel framework to study landscape dynamics // Computers and Geosciences – 2016. – Vol. 91. – P. 77–89.
14. Варущенко С. И., Варущенко А. Н., Клиге Р. К. Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени / Отв. ред. О. К. Леонтьев – М. : Наука, 1987. – 239 с.

## ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЛЬЕФА И ДРЕНАЖА КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ЛИСТА РАЙОНА ЛОС-ПАЛАСИОС, КУБА, МАСШТАБ 1 : 50 000

И. Е. Сидорина<sup>1</sup>, Мила Дома Юлиеми<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, i.sidorina@spbu.ru; st116052@student.spbu.ru

<sup>2</sup>Институт Геологии и Палеонтологии/Геологическая Служба Кубы (ИГП/СГК),  
Гавана, Куба, yuliemi@igp.minem.cu

**Введение.** Геоморфология всегда пытается достичь своих целей по количественному определению геоморфологических фактов, и именно создание подробных карт является фундаментальным средством достижения количественной оценки процессов и механизмов, которые моделируют формы земного рельефа, и в то же время они служат прочной основой для точного и динамичного описания моделирования.

Морфометрические методы применяются для измерения форм земной поверхности при геоморфологических исследованиях ввиду своей точности геоморфологического структурного анализа при изучении Земли и новейших движений земной коры.

Пинарский разлом представляет собой одну из наиболее морфоструктурных и геодинамических особенностей в географическом районе Пинар-дель-Рио, с расширением 160 км, направление юго-запад–северо-восток, отделяющее южную часть горного хребта Гуанигуанико от впадины Лос-Паласиос, в 3 км примерно вертикальное смещение (Pszczolkowski et al., 1987) и субвертикальное падение к югу (от 70 до 80°), разрезающее континентальную кору, согласно Фернандесу де Лара и Фахардо (2002).

В некоторых последних исследованиях, проводимых в зоне разлома Пинар [7], (Миллан, 2003; Кофиньо и Касерес, 2003; Касерес и др., 2005; Эрнандес и др., 2007; Санчес и Мондело, 2013), использовался микротектонический анализ, наблюдение кинематических индикаторов и применялись геофизические методы для реконструкции направления максимальных горизонтальных напряжений, главным образом ответственных за эволюцию современных морфоструктур и картографическую схему Пинарского разлома.

Морфотектонические исследования, проводимые на территории, как правило, проводились в небольших масштабах, что значительно затрудняет выявление мелких структур, свидетельствующих о местной тектонической активности, поскольку на территории исследования нет такой большой тектонической активности, как к северу от Пинарского разлома [17].

**Описание материалов и методов анализа.** Для выполнения предложенной задачи необходимо было провести обширный библиографический обзор предлагаемых методов исследования, их преимуществ и недостатков, предыдущих исследований, проведенных в исследуемой зоне и на Кубе, а также применения методов в этих областях. При анализе информации особое внимание уделялось работам, связанным с реакцией рельефа и дренажной сети на литолого-тектонические изменения, а также геоморфологическим исследованиям в целом и, в частности, морфометрическим исследованиям. Используемая топографическая основа имеет масштаб 1 : 50 000 с целью получения максимально возможной степени детализации изучаемых физических элементов. В качестве картографического листа использовался Los Palacios (3583-I). Важное значение имело создание баз данных, содержащих следующую информацию: а) цифровую модель местности в масштабе 1 : 25 000, б) геологическую карту провинции Пинар-дель-Рио в масштабе 1 : 100 000 (Гарсия и др., 2005), в) дренажную сеть, полученную вручную и автоматическим методом, масштаба 1 : 25 000 топографических листов и Цифровой модели местности. Для обработки данных, составляющих фундаментальный этап методологии исследования и имеющих основополагающее значение для изучения рельефа и дренажной сети, использовались программы: QGIS 3.2.0 для обработки и интерпретации цифровой модели местности, для извлечения карт изобаз 2-го и 3-го порядков, которые являются основополагающими для изучения подстилающих структур, а также была извлечена дренажная сеть, что помогло нам установить основные реки в этом районе и их порядок. CorelDraw 2017 и шаблон модели Риделя были использованы для определения предпочтительной ориентации течений рек порядка 1,2,3,4-6 относительно в преимущественном направлении Пинарского разлома. По основным рекам района был составлен продольный профиль, в котором представлены морфометрические характеристики речных русел, что имеет основополагающее значение для определения текущего индекса градиента SL с использованием Microsoft Excel.

**Обсуждение результатов.** Основные результаты получены за счет различных приемов и методов, примененных в проведенном исследовании. Роль тектоники в литологии подчеркивается в конфигурации современного рельефа и изменениях, происходящих в продольных профилях главных течений в ответ на эти тектонические изменения. Также показана применимость используемых методов выявления изменений рельефа и дренажной сети и связь этих изменений с факторами, их вызывающими.

Получение карт изобазитов очень полезно при тектонических и неотектонических исследованиях, а также служит для оценки интенсивности эрозии во времени; для анализа этих аспектов были получены карты второго и третьего порядков, для присвоения соответствующего порядка каждой реке использовалась классификация по Стралеру (1975 г.). Наибольшие

значения изобазитов 2-го и 3-го порядков обнаружены на самых высоких участках рельефа. Эти карты изобазит выявляют структуры, не проявляющиеся на поверхности, которые не выявляются с помощью DTM.

Карты изобаз 2-го и 3-го порядков (рис. 1) показывают очень локальные особенности, где на юге наблюдается плоская область с большим количеством молодого материала в рельефе, а на северо-западе – самые высокие значения рельефа, которые могут быть теми, которые представляют наибольшую устойчивость к эрозии, вызванной реками порядка, соответствующего каждой карте изобаз.

Анализ дренажной сети исследуемой территории показывает, что она в основном состоит из нескольких главных ручьев с их главными и второстепенными притоками, соединяющимися во всех направлениях. Ее русла в основном небольшие, короткие, неравномерные и охватывают обширные площади, поэтому дренажную сеть исследуемой территории можно отнести к дендритной.

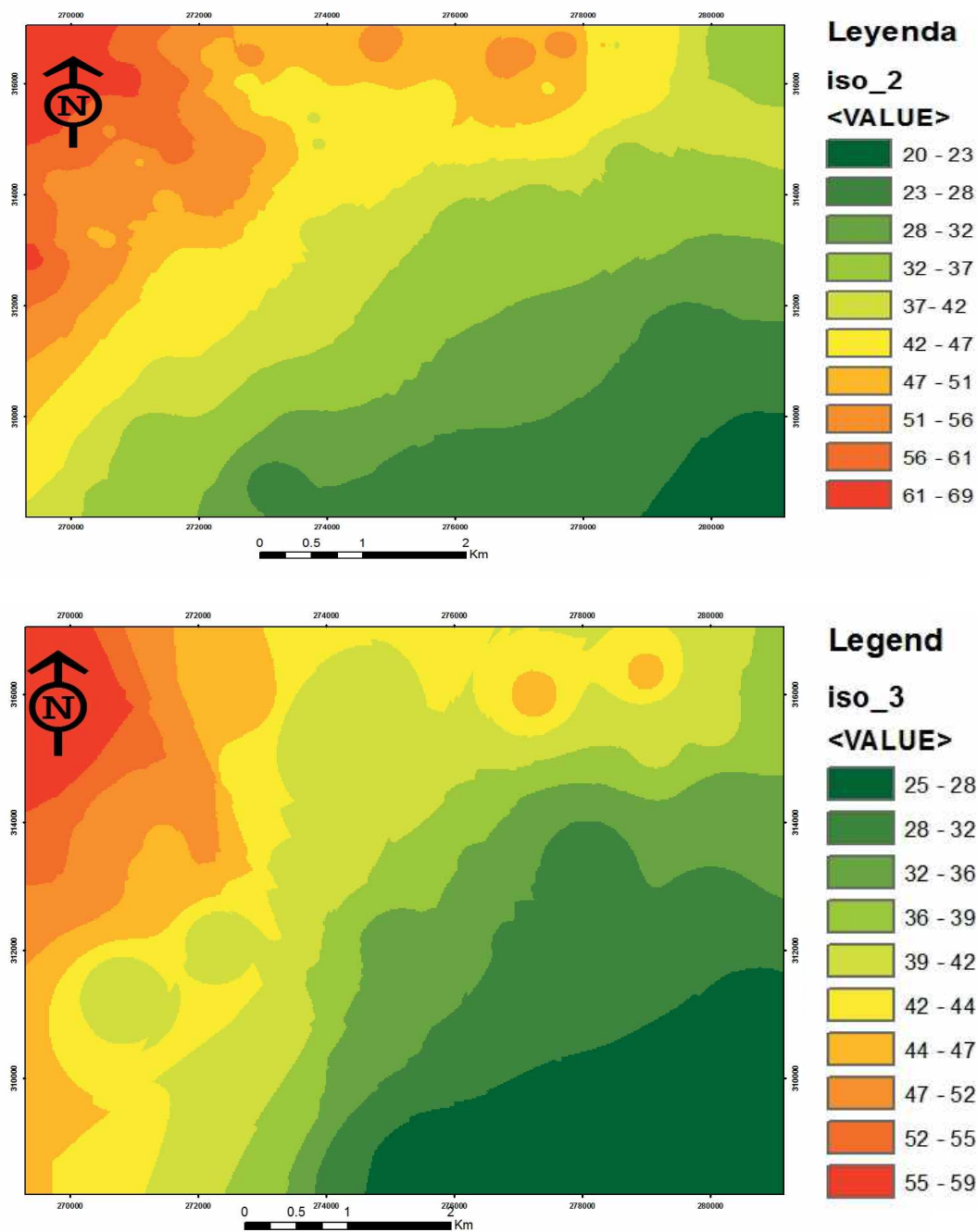
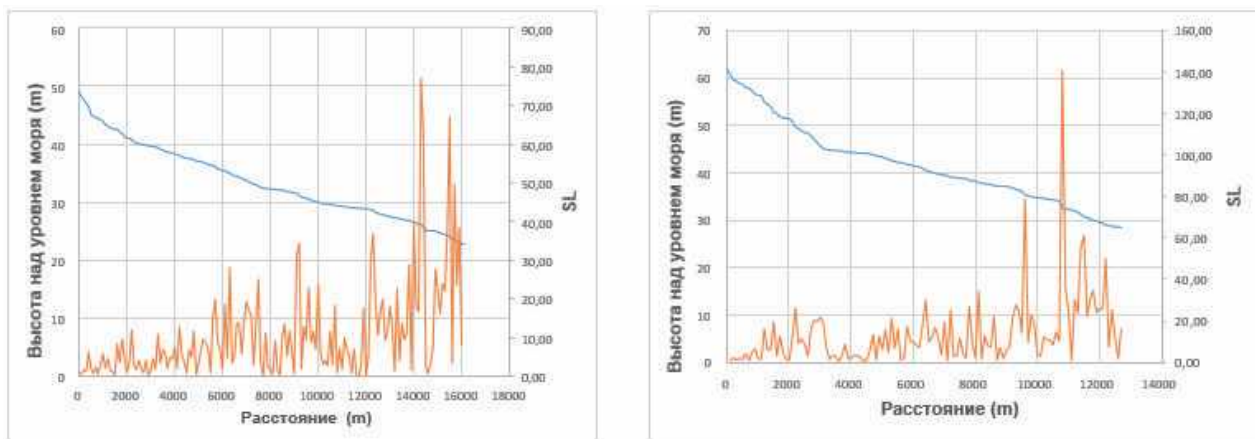


Рис. 1. Карты изобазитов 2-го и 3-го порядков соответственно



**Рис. 2. Продольный профиль и SL рек Санто-Доминго и Мансо**

Индекс градиента SL был рассчитан для двух основных рек исследуемой территории: «Санто-Доминго» и «Мансо» (рис. 2). С целью установления определяющего фактора уклоновых изменений, имеющихся в продольном профиле рек, было проведено исследование участка нарушения баланса продольного профиля, разделив возможные геологические причины нарушений на два класса: тектонические контакты и стратиграфические контакты.

#### **Заключение.**

1. Морфометрические исследования позволили оценить процессы, происходящие на исследуемой территории с момента формирования современного рельефа.
2. Карты изобаз 2-го и 3-го порядков показывают дифференцированное развитие восходящих движений и небольшое поднятие на северо-запад, о чем свидетельствуют высокие значения изобаз в указанном районе.
3. Дренаж на исследуемой территории имеет дендритный характер, ориентация речных течений и течений более высокого порядка имеет юго-западное и субмеридиональное направления, а основные изменения по отношению к ним происходят с северо-запада на юго-восток из-за литологических изменений.
4. Изучение долготных профилей двух основных рек показало, что их основные вариации имеют активный характер литологии в развитии рельефа.

#### **Литература**

1. *Acevedo-Gonzalez M.* Contribution to the study of the geomorphological evolution of the – Sierra de los Organos, Pinar del Rio, Cuba // *Revista Tecnológica.* – 1970. – P. 16–34.
2. *Acevedo-Gonzalez M.* Geomorphology of Sumidero región and its environs, Sierra de los Organos, Pinar del Río, Cuba // *Revista Tecnológica.* – 1971. – P. 33–54.
3. *Acevedo-Gonzalez M., Ramos V. J.* Introducción de métodos geomorfologicos e hidrogeológicos cuantitativos en la evaluación de sistemas cavernarios: aplicación al sistema Majaguas-Cantera, Pinar del Rio, Cuba // *Revista Tecnológica.* – 1974. – P. 29–39.
4. *Adreani L., Stanek K. P., Gloaguen R.* et al. DEM-based analysis of interactions between tectonics and landscapes in the Ore Mountains and Eger Rift (East Germany and NW Czech Republic) // *Remote Sensing.* – 2014. – Vol. 6. – P. 7971–8001.
5. *Astajov* et al. Trabajos de los Levantamiento Geologicos a escala 1 : 50 000 en la parte NO de la provincia Pinar del Río // *Pinar del Río.* – 1982.
6. *Bishop M. P., Shroder J. F., Bonk R.* et al. Geomorphic change in high mountains: a western Himalayan perspective // *En Global and Planetary Change.* – 2002. – Vol. 32. – P. 311–329.
7. *Cofiño* “Características microestructurales de las secuencias del Jurásico Superior – Cretácico y su relación con la potencialidad de hidrocarburos en la parte oriental de Sierra del Rosario” // *Tesis de Doctorado, Universida de Pinar del Río, Departamento de Geología.* – 2002.
8. *Domínguez-González L., Adreani L., Stanek K. P.* et al. Geomorpho-tectonic evolution of the Jamaican restraining bend // *Geomorphology.* – 2015. – Vol. 228. – P. 320–334.

9. *Grohmann C. H., Smith M. J.* Surface roughness of topography: multiscale analysis of landform elements in Midland Valley, Scotland // *En Proceedings of geomorphometry Zurich, Switzerland.* – 2009. – P. 140–148.
10. *Hack J. T.* Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland // *U.S. Geological Survey, Profesional Paper.* – 1956. – Vol. 294. – P. 45–97.
11. *Leopold L. B., Bull W. B.* Base level, aggradation and grade // *Proceedings of the American Philosophical Society.* – 1979. – Vol. 123. – P. 168–202.
12. *Mahmood S. A., Gloaguen R.* Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis // *Geosci. Front.* – 2012. – Vol. 3. – P. 407–428.
13. *Pérez-Peña J. V., Azañón J. M., Both-Rea G.* et al. Differentiating geology and tectonics using a spatial autocorrelation technique for the hypsometric integral // *J. Geophys. Res.-Earth.* – 2009. – Vol. 114.
14. *Pike R. J., Wilson S. E.* Elevation relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis // *Geol. Soc. Am. Bull.* – 1971. – Vol. 82. – P. 1079–1084.
15. *Schumm S.* Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy // *Geol. Soc. Am. Bull.* – 1956. – Vol. 67. – P. 597–646.
16. *Scotti V., Molin P., Faccema C.* et al. The influence of surface and tectonic process on lanscapes evolution of the Iberian Chain (Spain): quantitative geomorphical analysis and geochronology // *Geomorphology.* – 2014. – P. 37–57.
17. *Soca Y.* Regionalización Hidrogeológica de la Provincia Pinar del Río. Escala 1 : 250 000:Un Nuevo enfoque. Trabajo de Diploma para Ingeniero Geólogo, Dpto // *Geología, Universidad de Pinar del Río Hnos. Saiz.* – 2002.
18. *Strahler A. N.* Hypsometric area-altitude analysis of erosional topography // *Bulletin of the Geological Society of America.* – 1952. – Vol. 63. – P. 1117–1142.

## ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ВОЗРАСТ ТЕРРАС В ДОЛИНЕ РЕКИ МАЛЫЙ ЕНИСЕЙ (КАА-ХЕМ) В НИЖНЕМ ЕГО ТЕЧЕНИИ

Г. В. Мирсанов<sup>1,2</sup>, А. С. Гладышева<sup>2</sup>, И. В. Жигмановский<sup>2</sup>, Д. В. Назаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет,  
Санкт-Петербург, grigoriy2882@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт  
им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург*

Происхождение террас Малого Енисея с ярко выраженным грядовым рельефом на поверхности обсуждается в научной среде уже несколько десятков лет [1–3]. А вопрос происхождения террас с относительными высотами до 100 м в приустьевых частях некоторых притоков Малого Енисея ранее не обсуждался вовсе. В рамках геологосъемочных работ Института Карпинского 2020 и 2023 гг. получены новые данные о геологическом строении и возрасте этих объектов.

Террасы Малого Енисея с относительными высотами 30–40 м изучены в нескольких разрезах в районе г. Кызыл и выше по течению от реки. Они сложены валунниками, галечниками, гравийниками и песками. Грубообломочный материал всегда хорошо окатан. Для толщ характерны косые серии, рябь течения, многочисленные эрозионные вложки, черепитчатая укладка уплощенных галек. На основании пространственного соотношения фаций мы считаем, что террасы имеют аллювиальное происхождение. Из отложений, слагающих террасы, впервые получены ОСЛ-даты в интервале 139–106 тыс. лет.

Террасы относительной высотой над урезом воды в р. Малый Енисей 70–100 м находятся в приустьевых частях притоков Малого Енисея, таких как реки Сизим, Бурен, Бельбей. Разрез террас представлен валунниками, галечниками, гравийниками, грубо- и крупнозернистыми песками. Грубообломочный материал имеет окатанность от плохой до средней, редко хорошей. Для толщи характерны срезающие друг друга косые серии с углами падения слоев в сериях от первых градусов до 18°. Из данных отложений также впервые получены ОСЛ-даты в районе 40 тыс. лет.

Данные террасы, на наш взгляд, не являются аллювиальными террасами Малого Енисея. Они закрыты на востоке горными массивами и находятся «в тени» относительно текущего с востока на запад Малого Енисея. Для формирования таких террас Малому Енисею пришлось

бы довольно сильно искривить свое русло, сформировав излучины. Вероятно, данные площадки являются фрагментами континентальных дельт притоков Малого Енисея, однако данный вопрос требует более детальных исследований.

### Литература

1. Борисов Б. А., Минина Е. А. Ребристые основные морены гор Южной Сибири и их значение для стратиграфии и палеогеографии плейстоцена // Четвертичная геология и геоморфология. Дистанционное зондирование. – М : Наука, 1980. – С. 21–24.

2. Зольников И. Д. и др. О фациальном составе и стратиграфическом положении четвертичной верхнеенисейской толщи в Тувинской и Минусинской впадинах // Геология и геофизика. – 2020. – Т. 10, № 6. – С. 1377–1390.

3. Колямкин В. М. О грядовом рельефе террас рек Тувинской впадины (Тува) // Геологическое строение и полезные ископаемые Центральной Сибири: Сборник статей. – Красноярск, АО «Сибирь» : 2020. – С. 61–66.

## МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ДОННОГО ОСАДКА ОЗЕРА НИЖНЕЕ МУЛЬТИНСКОЕ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ) КАК ОСНОВА ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЙ

В. С. Новиков<sup>1,3</sup>, А. В. Дарьин<sup>3</sup>, Н. А. Рудая<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт географии РАН, Москва, novikovvs@igm.nsc.ru

<sup>2</sup>Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск

<sup>3</sup>Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск

Одним из важнейших источников данных, используемых для палеоклиматических реконструкций, являются донные отложения озер, изучение которых с использованием комплекса методов высокого разрешения позволяет выявить как локальные, так и региональные климатические изменения прошлого [1]. Образование донных осадков в пресноводных озерах зависит от внешних условий, определяющих поступление осадочного материала с территории водосбора. При этом стратифицированные донные отложения содержат информацию о геологическом строении территории водосбора и динамике поступления осадочного вещества за счет накопления тех или иных химических элементов [2].

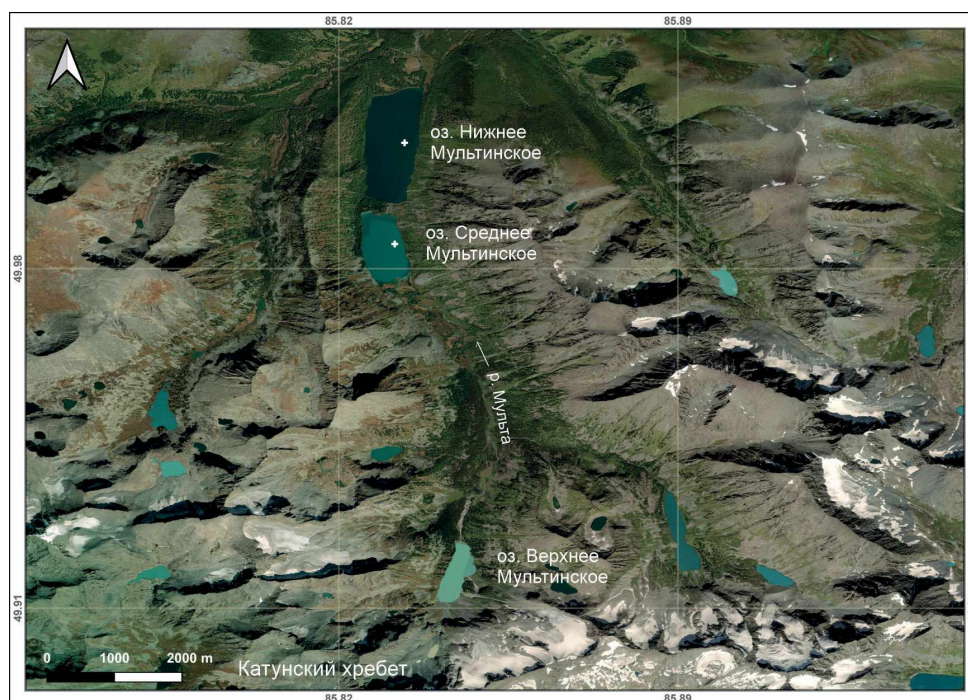


Рис. 1. Космоснимок района озера Нижнее Мультинское

**Пробоотбор и пробоподготовка.** Объектом исследования является донный осадок озера Нижнее Мультиинское, расположенного на северо-западном окончании Катунского хребта, в верхней части долины р. Мульта (правый приток р. Катунь, Горный Алтай) (рис. 1). Озеро Нижнее Мультиинское находится на высоте 1627 м. Длина озера – 2370 м, ширина – 990 м. Отбор керна осуществлялся в июле 2022 г. из самой глубокой части озера (22 м) с использованием ударного пробоотборника “Uwitec Piston corer”. Во время отбора и транспортировки керна особое внимание уделялось сохранности верхушки керна.

Керн был вскрыт в лабораторных условиях в г. Новосибирск и разделен вдоль оси керна на две половины. Из одной половины керна готовились дискретные образцы с шагом 10 мм для различных аналитических исследований. Из второй половины готовились твердые препараты, пропитанные эпоксидной смолой, для непрерывного РФА-сканирования по методике [3].

**Аналитические исследования.** Распределение активности изотопов Свинец-137 и Цезий-210, используемые для верификации датировки верхнего интервала керна (0–200 мм), сделаны в Аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск) с использованием полупроводниковой низкофоновой гаммаспектрометрии на коаксиальном Ge-детекторе с низкофоновым криостатом по стандартной методике (аналитик – канд. геол.-минерал. наук М. С. Мельгунов).

Сканирующий мРФА-СИ проводился в Сибирском центре синхротронного и терагерцового излучения на экспериментальной станции «Элементный анализ» по аттестованной методике [6]. Движение образца осуществлялось по вертикали с шагом 1 мм. Время измерения в каждой точке составляло 20 с, одновременно определялось содержание более 20 породообразующих и следовых элементов.

**Результаты и обсуждение.** Полученные изотопные данные позволяют оценить положение максимальной активности  $^{137}\text{Cs}$  в 15–25 мм от границы вода–осадок, что соответствует глобальным выпадениям 1961–1962 гг. По результатам расчетов линейная скорость осадконакопления по активности Цезий-137 лежит в интервале 0,26–0,44 мм/год, по изменению активности Рб-210 0,45 мм/год [4]. Таким образом, скорость современного осадконакопления в озере Нижнее Мультиинское лежит в интервале 0,26–0,45 мм/год.

Из всей совокупности аналитических данных, полученных сканирующим микро-РФА для характеристики элементного состава донного осадка, был выбран следующий набор параметров: отношения  $\text{Br/Rb}$ ,  $\text{Rb/Sr}$  и рентгеновская плотность образца, как отношение упруго-/неупруго рассеянного на образце излучения ( $\text{Coh/Incoh}$ ).  $\text{Br/Rb}$  – индикатор органики (развитие алохтонной и автохтонной органики с температурой).  $\text{Rb/Sr}$  – индикатор размера (гранулометрия – связь с паводками).  $\text{Co/Inc}$  – плотность осадка (соотношение терригенного сноса и органической компоненты).

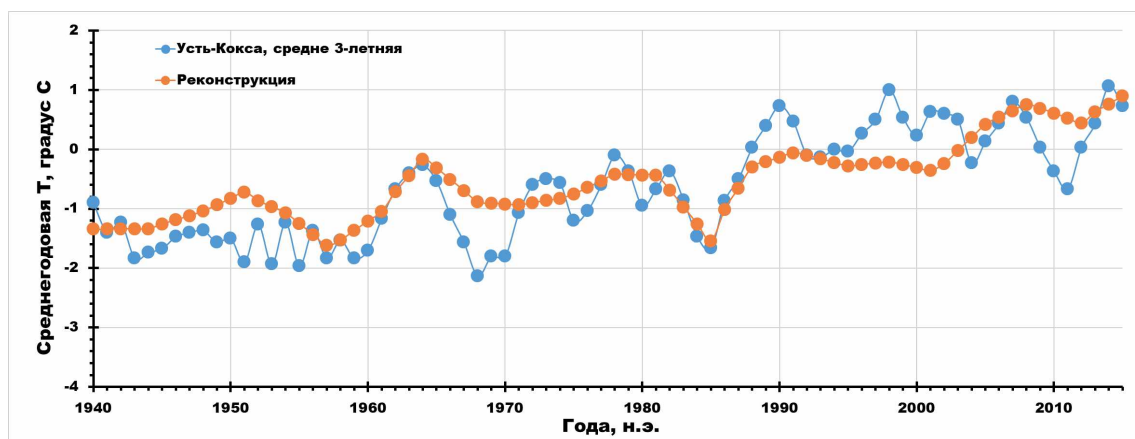


Рис. 2. Средняя 3-летняя температура по инструментальным данным метеостанции Усть-Кокса (сплошная толстая линия) и ее реконструкция по химическому составу донных отложений (пунктирная толстая линия) с указанием 95 % доверительного интервала (тонкие пунктирные линии)



С помощью метода множественной регрессии была вычислена трансферная функция, отражающая зависимость элементного состава донных осадков от среднегодовых температур в регионе. В качестве исходных метеорологических данных использовались инструментальные наблюдения, собранные с 1940 по 2016 год на метеостанции Усть-Кокса, расположенной в 33 км к северо-западу от исследуемого объекта (<http://www.meteo.ru/climate/temp.php>). Критериями оптимальности для полученной трансферной функции служили коэффициент корреляции и 95-процентный уровень погрешности между инструментальным температурным рядом и его реконструкцией (рис. 2).

**Выводы.** Использование сканирующего  $\mu$ РФА-СИ для исследования кернов донных осадков позволяет получить детальный набор литолого-геохимических данных для создания трансферных функций, количественно связывающих региональные погодноклиматические параметры с элементным составом датированных слоев осадка и строить палеореконструкции с высоким временным разрешением.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024) и в рамках Государственного задания Института геологии и минералогии им. Соболева СО РАН № 122041400214-9.*

### Литература

1. Кузнецов Д. Д., Субетто Д. А. Стратиграфия донных отложений озер Карельского перешейка. – М. : ГЕОС, 2019. – 120 с.
2. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений. – Мурманск : Изд-во МГТУ, 2012. – С. 242.
3. Дарьин А. В., Ракшун Я. В. // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2013. – Т. 51, № 2. – С. 112.
4. Appleby P. // Stud. in Env. Sci. – 1997. – Vol. 68. – P. 441.
5. ФГБУ «ВНИИГМН МЦД». – URL: <http://www.meteo.ru/climte/temp.php> (дата обращения: 01.09.2024).

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАМЧАТСКОЙ ДЕПРЕССИИ

Д. О. Паршин<sup>1,2</sup>, Д. В. Назаров<sup>1</sup>, О. А. Никольская<sup>1</sup>, И. В. Жигмановский<sup>1</sup>,  
С. В. Жигмановская<sup>1</sup>, Г. В. Мирсанов<sup>1,2</sup>, Д. М. Лобачева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, [Daniil\\_Parshin@karpinskyinstitute.ru](mailto:Daniil_Parshin@karpinskyinstitute.ru)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

Последнее обстоятельное изучение четвертичных образований Центральной Камчатской депрессии (далее ЦКД) проводилось в 1960–1965 гг. совместными усилиями специалистов Геологического института (г. Москва) и Института вулканологии СО АН СССР [1; 2]. Дальнейшие работы [3] носили единичный характер и осуществлялись малыми коллективами, не располагавшими возможностями для сбора необходимых объемов фактического материала. В результате в настоящее время стратиграфические построения для ЦКД базируются на ограниченном числе радиоуглеродных возрастов, спорово-пыльцевых спектрах и данных диатомового анализа. Проблемы с определением генезиса и стратиграфическим положением некоторых подразделений, а также отсутствие абсолютных геохронометрических данных не позволяют создать непротиворечивую местную стратиграфическую схему и препятствуют корреляции подразделений ЦКД с другими регионами п-ова Камчатка.

В ходе проведения полевых работ ФГБУ «Института Карпинского» на территории листа N-57 Петропавловск-Камчатский при участии сотрудников Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН и Геологического института РАН в долинах рек Камчатка и Андриановка (левый приток) было повторно изучено большинство опорных обнажений.

С помощью фациального анализа (в частности текстурного анализа) уточнены генезис, стратиграфическое положение и фациальное строение стратогенов, описанных предшественниками.

В обнажениях яров на отрезке от с. Мильково до с. Долиновка более детально изучено строение т.н. «мореноподобной» толщи: выявлена ассимиляционная зона с рядом характерных деформационных текстур, вскрыты контакты с вышележащими образованиями, осложненные криотурбациями и морозобойными клиньями. В обнажении на р. Андриановка впервые зафиксирована морена и перекрывающие ее лимногляциальные образования.

Для яра Длинный впервые подробно описаны переходные образования, перекрывающие толщу «синих глин».

Уточнен генезис образований, вскрывающихся в яре Ломутский: отложения представлены перевеянными гляциофлювиальными мелкозернистыми песками, в основании которых залегает гляциофлювиальная толща, сложенная галькой с песчаным матриксом. Полученные сведения допустимо экстраполировать на всю территорию междуречья Козыревки, Караковой и Камчатки, имеющую аналогичное строение.

Для всех вскрытых подразделений получены точные гипсометрические отметки кровли и подошвы.

2. Собран фактический материал (более 100 образцов) для целей ОСЛ и радиоуглеродного датирования, геохимического анализа пеплов, а также гранулометрического, макро- и микропалеонтологического анализов.

3. В процессе исследования активно применялся тефрохронологический метод, на основе которого получены сведения об относительном возрасте формирования стратогенов, а также осуществлена корреляция их между собой.

Таким образом, предварительные данные позволяют существенно дополнить представление о развитии региона в плейстоцене, в частности уточнить развитие озерного и ледникового режимов в пределах ЦКД. Часть обнажений может рассматриваться в качестве стратотипических.

## Литература

1. *Брайцева О. А., Мелекесцев И. В., Евтеева И. С.* и др. Стратиграфия четвертичных отложений и оледенения Камчатки. – М.: Наука, 1968. – 226 с.
2. *Куприна Н. П.* Стратиграфия и история осадконакопления плейстоценовых отложений Центральной Камчатки // Труды ГИН АН СССР. – М.: Наука, 1970. – Вып. 216. – 148 с.
3. *Певзнер М. М., Яшина О. В., Смышляева О. И.* и др. Опорные разрезы рыхлых отложений позднего–среднего плейстоцена Камчатки: современное состояние, проблема возраста и перспективы изучения // Литология и полезные ископаемые. – 2019. – № 1. – С. 60–89.

## НОВЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ИЗУЧЕНИЮ ОЗЕРА ХАНКА

А. К. Румянцева, А. Ю. Сергеев, Л. М. Буданов, О. В. Дронь, Д. В. Рябчук

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского,  
Санкт-Петербург, Anna\_Rumyanцева@karpinskyinstitute.ru*

**Введение.** Работы выполнялись в рамках Технического (геологического) задания по доизучению региональных особенностей геологического строения и получению новых данных в области стратиграфии, петрологии, тектоники, изотопной геохронологии и минерагении (закономерностей размещения полезных ископаемых) по группам листов Госгеолкарты-1000/3 (L-52, 53).

В задачи геологического доизучения рассматриваемой акватории на первичном этапе вошли:

– установление гранулометрических типов донных отложений, определение их возможного возраста при обзоре литературных данных и генезиса, согласно результатам гранулометрического анализа и последующей статистической обработки;

- определение геохимических аномалий в составе отобранных отложений;
- выделение сейсмостратиграфических подразделений акватории.

Полевые работы выполнялись на борту маломерного судна-катера с подвесным мотором и включали в себя (рис. 1):

- георадиолокационное профилирование (ГРЛ) – 390 км;
- высокочастотное непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП) – 390 км;
- донный пробоотбор при использовании трех пробоотборников: использовались герметичная грунтовая трубка (для отбора кернов), дночерпатель типа бокс-корер, малая драга.

Камеральная обработка была выполнена для 82 проб грунтов, из которых 50 предназначались для гранулометрического анализа (методами лазерной дифракции и ситовым), 32 пробы – для геохимического анализа при использовании методов атомной абсорбции (для определения содержания золота), приближенно-количественного спектрального анализа и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

**Участок работ.** Озеро Ханка – крупнейший пресноводный водоем на Дальнем Востоке, на границе между Россией и Китаем, принадлежит к водосборному бассейну р. Амур. Площадь озера – 4070 км<sup>2</sup>, наибольшая глубина – 6,5 м (при среднем многолетнем уровне – 4,5 м [5], средняя абс. выс. уровня – 69 м. Водосборный бассейн озера занимает 17,5 тыс. км<sup>2</sup>. Из оз. Ханка вытекает р. Сунгач – приток р. Уссури [2]. В водоем впадают реки Илистая, Спасовка, Мельгуновка, Комиссаровка, а также другие более мелкие. Ханка расположена в средней части Западно-Приморской равнины и окружена обширной Ханкайской равниной. Береговая линия Ханки слабо расчленена, особенно в восточной части [3].

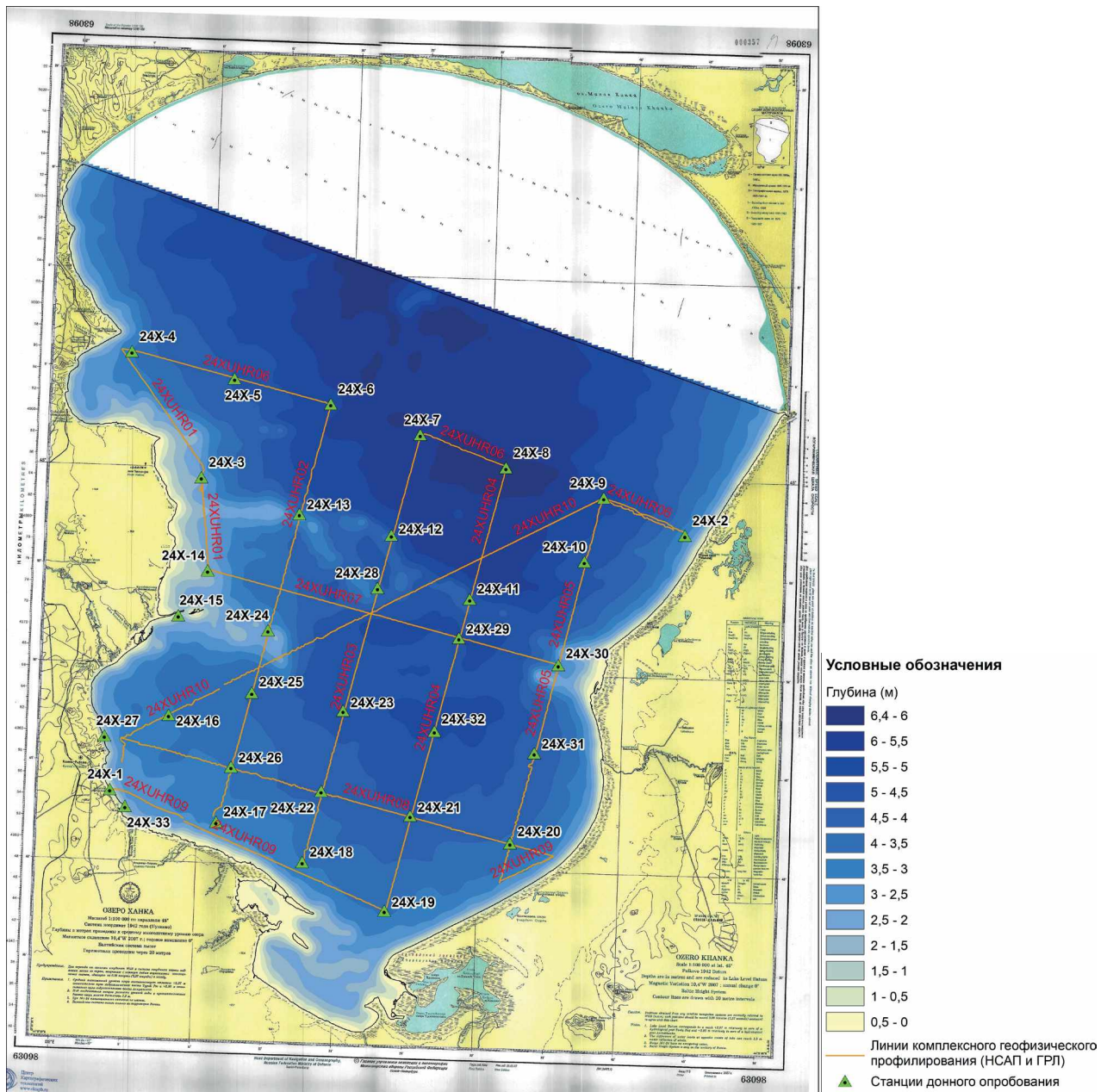
По литературным данным, в среднем–позднем неоплейстоцене территория Приханкайской низменности представляла собой обширную аллювиальную равнину, которая периодически была полностью или частично затопленной. Озеро с современными формами рельефа (валами, лагунами, косами и т. д.) возникло позднее – скорее всего, в среднем голоцене, по данным палинологического анализа и радиоуглеродного датирования отложений, слагающих ископаемые береговые формы. В результате регрессии Ханки в позднем голоцене осталась система береговых валов и заболоченные лагуны, где был определен возраст по <sup>14</sup>C не более 1500 лет, что соответствует субатлантической фазе голоцена (Павлюткин, Ханчук, 2002), [1; 4].

**Результаты и обсуждение.** По предварительным оценкам возраста и генезиса отобранных в ходе работ отложений, нижнему горизонту соответствуют озерные отложения верхнего неоплейстоцена (? III<sup>4</sup>) со средней видимой мощностью 9,5 см, максимальной 21,5 см. Вероятно, данные осадки зафиксированы на 15 станциях (24X-2, 4, 5, 7, 9, 21–27, 29, 31, 32) и представлены в основном серой и сизовато-серой мягкопластичной, до тугопластичной глиной.

Перекрывают неоплейстоценовые озерные отложения на 10 станциях пробоотбора (24X-8, 9, 10, 21-23, 25–27, 29) (рис. 2), предположительно, нижнеголоценовые озерно-нефелоидные образования (? InH<sup>1</sup>) со средней мощностью 10,7 см, максимальной 26 см. На ст. 24X-16–20 данные осадки выполняют разрез до забоя. Отложения представлены сизовато-серой в основном мягкопластичной, реже алевроглиной, с примесью песчаного (реже гравийного) материала (в виде линз или единичных зерен).

На 20 станциях (24X-2, 7–10, 16–23, 25–27, 29–32) венчают разрез озерно-нефелоидные отложения среднего и верхнего голоцена (InH<sup>2+3</sup>), средняя мощность которых составляет 2 см. Осадки представлены бурым (окисленным) текучим наилком пелитового алеврита (текуче-пластичным пелитом).

На 9 станциях (24X-11–14, 28, 30, 33 и с меньшей долей вероятности на ст. 24X-6, 32) разрез выполняют озерно-ундаливиальные отложения нижнего голоцена (IvH<sup>1</sup>), со средней мощностью 8,8 см, максимальной 12 см. Осадки представлены, согласно проведенному водно-ситовому анализу: бурым песком мелко-среднезернистым в обр. 24X-6, 13, 14, 33; средне-мелкозернистым в обр. 24X-12, 28; глинистым, существенно среднезернистым, текучим (24X-30, по полевому описанию). Песок хорошо отмытый, сортированный кварц-полевошпатовый, с темноцветными минералами слюды.



**Рис. 1. Карта фактического материала: комплексного геофизического профилирования (НСАП и ГРЛ) и станций проботбора на акватории оз. Ханка (составлена по материалам Отдела региональной геоэкологии и морской геологии Института Карпинского)**

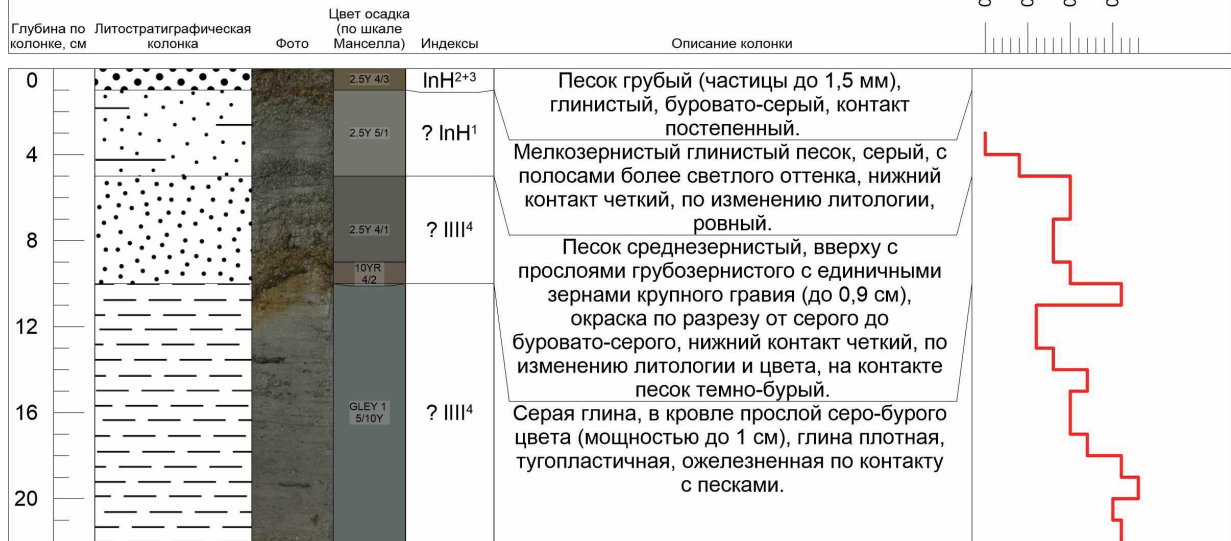
В образцах 24X-3, 15 разрез выполнен озерно-ундалювиальными отложениями, вероятно, среднего и верхнего голоцена, мощностью до 10 см. По данным водно-ситового анализа, осадки представляют собой бурый песок средне-мелкозернистый (24X-3) и крупно-среднезернистый (24X-15). Песок отмытый, сортированный, кварц-полевошпатовый с темноцветными минералами слюды.

Образец 24X-1, отобранный с глубины 1 м, выполнен озерно-ундалювиальными отложениями нижнего голоцена мощностью до 45 см. Осадок неоднороден, представлен в верхней половине слоя переслаиванием темного буровато-серого растительного детрита с примесью алевроглинистого вещества и более светлого глинистого песка или алевроглин. По всему разрезу наблюдаются среднезернистые чашуйки слюды в разных концентрациях. Ниже интервала 0–45, возможно, присутствие более твердого субстрата (песка?), в который трубка не смогла войти из-за слишком большой плотности осадка (? И<sup>2</sup>).

### А Грунтовая колонка 24Х-29т

Абсолютная отметка устья: -6,4 м

Координаты: 44,86309 132,471359



### Б

#### ФРАГМЕНТ ВРЕМЕННОГО РАЗРЕЗА ПО ПРОФИЛЮ 24ХUHR04 (файл 20240601\_084449)

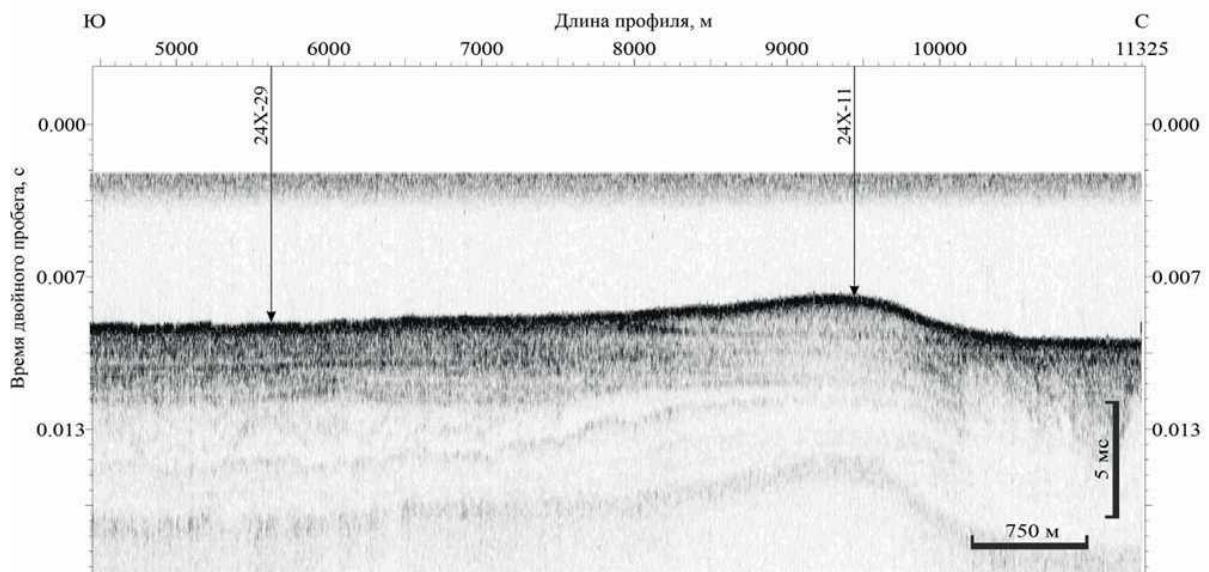


Рис. 2. А – описание литологической колонки (ст. 24Х-29), отобранной на акватории оз. Ханка (составлена по полевому описанию). Б – положение на сейсмоакустическом профиле

По данным 19-фракционного ситового гранулометрического анализа 10 проб песчаных отложений (24Х-3, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 24, 28, 33), по методу моментов были рассчитаны основные статистические характеристики (Ma, So, A, E) распределений размеров частиц.

Осадки представлены песками, кривые распределения одномодальные, примесь тонкозернистых частиц (<0,01 мм) незначительна (менее 1 %, за исключением образца 24Х-33, где она достигает 1,16 %). Гравийно-галечные частицы (за исключением обр. 24Х-15 и 24Х-33) отсутствуют. Гранулометрические параметры свидетельствуют об интенсивном гидродинамическом воздействии на формирование фракционной структуры.

Поверхностные отложения, отобранные на ст. 24Х-3, 24Х-12, 24Х-24, характеризуются наиболее высокой степенью гранулометрической зрелости – хорошей сортировкой (So 1,0–1,24),

наличием четкой моды в области фракции 0,1–0,25 мм (вес модальной фракции 65–83 %). Осадки станции 24X-13 характеризуются близкими гранулометрическими параметрами, однако модальной фракцией (с весом 60 %) является средnepесчаная (0,25–0,5 мм).

Вторая группа образцов 24X-6, 24X-11, 24X-14 и 24X-28 представлена менее сортированными ( $S_o$  1,56–1,97) средне-мелкозернистыми и мелко-среднезернистыми песками. Вес модальной фракции – 55–69 %.

По гранулометрическим параметрам несколько отличаются осадки, отобранные на станциях 24X-15 и 24X-33. Асимметрия распределения незначительно скошена в области крупнопесчаной фракции, фиксируется примесь грубообломочного материала (3,72 и 2,0 % соответственно). Эти осадки могут быть отнесены к палимпсестовым.

В геохимическом составе отобранных отложений были зафиксированы большие содержания олова в обр. 24X-1 (19 ppm) и 24X-29 (15,7 ppm). Повышенные содержания золота по сравнению с фоном были отмечены на станциях с 24X-14 по 24X-25.

**Благодарности.** Работы выполнены в рамках проекта «Составление предварительных геологической карты и литологической карты поверхности дна на акваторию оз. Ханка и Японского моря в рамках работ подготовительного этапа мониторинга 2-й стадии легенды Дальневосточной серии листов (листы К-(52),53, L-(52),53)».

### Литература

1. Базарова В. Б., Мохова Л. М., Орлова Л. А. и др. Динамика изменения уровня оз. Ханка (Приморье) в позднем голоцене // Тихоокеанская геология. – 2008. – Т. 27, № 3. – С. 93.
2. История Ладожского, Онежского, Псковско-Чудского озер, Байкала и Ханки (Серия История озер СССР). – Л. : Наука, 1989. – 280 с.
3. Короткий А. М., Михайлов М. А., Китаев И. В. и др. Литология и геохимия современных озерных отложений гумидной зоны (на примере оз. Ханка). – М. : Наука, 1979. – С. 6, 9–11.
4. Микишин Ю. А., Петренко Т. И., Попов А. Н. и др. Палеогеография озера Ханка в позднем голоцене // Научное обозрение. – 2007. – № 2. – С. 8–9.
5. Озеро Ханка // Водно-болотные угодья России: сайт. – URL: <https://fesk.ru/wetlands/298.html> (дата обращения: 20.06.2024).

## ПОЛЕВЫЕ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАБОТЫ В ШТАБЕЛЕ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

В. И. Сушкова, М. А. Маринин

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург*

Куранахское рудное поле (КРП), расположенное на севере Центрально-Алданского золотоносного района, представляет собой обширную зону золоторудной минерализации. Многолетним периодом эксплуатации 11 разведанных золоторудных месторождений и ряда рудопроявлений накоплены отвалы пустых и вмещающих горных пород, которые широко изучены.

В геотектоническом отношении рассматриваемая территория известна как Куранахский грабен или прогиб на Северном склоне Алданской антеклизы.

КРП представляет собой сложную геологическую структуру, сформированную осадочными породами венда, кембрия и, в меньшей мере, нижней юры, которые перекрывают образования докембрийского кристаллического фундамента.

Поверхность КРП повсеместно покрыта рыхлыми четвертичными отложениями различного генезиса – аллювиальными, делювиальными, пролювиальными, а также элювиальными образованиями. Особый интерес представляют неоген-четвертичные песчано-глинисто-обломочные отложения, заполняющие карстовые полости в кембрийских и докембрийских породах. Эти отложения представляют собой смесь песчаного и глинистого материала с разнообразными обломками: фрагментами юрских песчаников, кембрийских известняков

и доломитов, обломками мезозойских изверженных пород, а также обломками кварца, гематит-кварцевых образований [1; 2].

Образование цементирующего песчано-глинистого материала напрямую связано с интенсивными процессами выветривания и разрушения исходных горных пород. Распределение грубообломочной и песчано-глинистой фракции составляет 26–63 % и 30–40 % соответственно. При этом минеральный состав включает кварц и полевые шпаты (47–74 %); глинистые минералы (каолинит, гидрослюды) – до 35 %; гидроокислы железа (гидрогётит, гидрогематит) – 10–38 %; карбонаты (кальцит, обломки карбонатных пород) – 0,5–3,0 %.

Значительная часть золота находится в тонкодисперсном состоянии, рассеянном в ассоциации с гидроокислами железа и глинистыми минералами. Промышленно-значимыми источниками золота выступают руды и вмещающие породы, отличающиеся высокой степенью выветрелости и окисления, более золотоносными считаются бурые и красно-бурые глины, обогащенные гидроокислами железа, с сохранившимися реликтами кварц-полевошпатовых песчаников.

С середины 1950-х годов активно началось развитие территории КРП традиционным открытым способом, и всего через 25 лет были предложены попытки внедрения новой эффективной для Отечества технологии извлечения золота методом кучного выщелачивания. Первые работы по КВ принадлежали институту «Иргиредмет». Позднее после ряда лабораторных, полупромышленных, технологических испытаний технология КВ из забалансовых руд была принята к промышленному освоению [3; 4].

Техногенный массив, сформированный путем конвейерной отсыпки песчано-глинистых руд в четыре яруса, каждый высотой не менее 10 м, представляет собой сложную природно-техническую систему с существенно неоднородной структурой. Эта неоднородность, значительно отличающаяся от данных, полученных в ходе лабораторных испытаний, является следствием ряда факторов, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации подобных объектов. Во-первых, процесс конвейерной отсыпки сам по себе не обеспечивает равномерного распределения материала. Во-вторых, после отсыпки происходят процессы консолидации и уплотнения массива под собственным весом. В-третьих, лабораторные испытания, как правило, проводятся на небольших по объему образцах, не всегда адекватно отражающих физико-механические характеристики массива в целом. Подобные песчано-глинистые материалы изначально обладают низкой фильтрационной способностью. Данный факт относит их к категории непригодных для технологии кучного выщелачивания и добавляет дополнительный этап предварительного окомкования дробленого исходного сырья с цементом, который призван повысить проницаемость и устойчивость штабеля [5; 6].

Таким образом, предлагается метод, суть которого заключается в проведении серии натуральных испытаний непосредственно внутри панелей первого яруса штабеля еще до начала работ по формированию второго. Оптимизация работы отвалообразователей при формировании многоярусных штабелей является актуальной задачей. Эти испытания, основанные на прямых измерениях, позволяют с высокой точностью определить пространственное изменение коэффициента фильтрации отвального материала.

Опытно-фильтрационные работы были выполнены в виде наливов по методу В. М. Насберга [7] на первом и втором ярусе промышленного комплекса кучного выщелачивания в составе 4–6 наливов в каждой из четырех скважин при условиях установившегося расхода и поддержания в скважине постоянной высоты столба воды, не превышающей длины интервала опробования. Опробование скважины проводится по мере ее углубления наливками по схеме «сверху вниз». Процесс работ начинается с бурения до первого целевого интервала, расположенного на заданной глубине 2 м. После достижения проектной глубины проводится промывка скважины, удаляется буровой шлам и выполняется налив. Данный цикл повторяется для каждого последующего интервала опробования: бурение до подошвы следующего интервала, промывка и налив.

Результаты натуральных исследований показали значительный разброс значений коэффициента фильтрации. В подавляющем большинстве случаев  $K_f$  варьировался от 2 до 10 м/сут, демонстрируя относительно стабильные значения по глубине, но были подсечены зоны в диапазоне значений от 0,01 м/сут до более 100 м/сут. Ключевым фактором, определяющим неоднородность фильтрации, является распределение частиц руды по размерам и их пространственное расположение в штабеле [8].

Предложенный подход к проведению опытно-фильтрационных работ на промышленном участке оказался наиболее достоверным для понимания реальной картины распределения коэффициента фильтрации в разных слоях штабеля. Натурные исследования позволили реально оценить сформировавшуюся структуру массива. Полученные данные позволяют оптимизировать работу отвалообразователей при переходе с первого яруса к вышележащим.

### Литература

1. Анисимова Г. С., Кондратьева Л. А., Соколов Е. П. и др. Золотое оруденение лебединского и куранахского типов в Верхнеамгинском районе (Южная Якутия) // Отечественная геология. – 2018. – № 5. – С. 3–13.
2. Потехин Г. Н., Вохмин С. А., Чустугешев В. М. и др. Опыт проектирования и разработки карьеров на золоторудных месторождениях Куранахского рудного поля // ГИАБ. – 2011. – №S10. – С. 33–42.
3. Дементьев В. Е., Дружинина Г. Е., Гудков С. С. Кучное выщелачивание золота и серебра. – Иркутск : Иргиредмет, 2004. – 352 с.
4. Кучное выщелачивание благородных металлов / Под ред. М. И. Фазлуллина. – М. : Изд-во Академии горных наук, 2001. – 647 с.
5. Татауров С. Б. Обоснование геотехнологических процессов кучного выщелачивания золота с криогенными преобразованиями минерального сырья : Автореф. докт. дисс. – СПб. ; СПбГУ, 2011. – 41 с.
6. Лушников Я. В., Багазеев В. К. Определение физико-механических свойств окатышей при формировании штабеля кучного выщелачивания : Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 8. – С. 124–127.
7. Справочное руководство гидрогеолога. Т. 2. – М. ; Л.: Недра, 1967. – 360 с.
8. Маринин М. А., Поспехов Г. Б., Сушкова В. И. и др. Опыт полевых опытно-фильтрационных работ в штабеле кучного выщелачивания песчано-глинистых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 8. – С. 51–62.

### ОСЛ-ДАТИРОВАНИЕ В АРХЕОЛОГИИ

А. А. Черезова<sup>1</sup>, И. В. Тимофеева<sup>1</sup>, М. В. Ручкин<sup>1</sup>, Д. В. Назаров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, [anna\\_cherezova@karpinskyinstitute.ru](mailto:anna_cherezova@karpinskyinstitute.ru)

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Датирование методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) основано на зависящем от времени накоплении радиационных нарушений в зернах минералов-дозиметров (обычно кварца или калиевого полевого шпата) [3]. Энергия ионизирующего излучения, выделяемого природными радиоизотопами ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ , их дочерние продукты, а также  $^{40}\text{K}$  и  $^{87}\text{Rb}$ ) сохраняется в дефектах кристаллической решетки таких минералов и может выделяться в виде света (люминесценции) при нагревании или возбуждении видимым или инфракрасным светом. Интенсивность люминесценции зависит от поглощенной дозы излучения (палеодозы) и таким образом позволяет ее оценить. Предполагая, что скорость накопления дозы постоянна, можно рассчитать время, в течение которого была накоплена палеодоза. При этом датированным событием будет являться последнее воздействие на минеральное зерно солнечного света или последний нагрев объекта (Duller, 2008). Возрастной диапазон, в котором может применяться ОСЛ-метод, составляет от первых сотен лет до 300 тыс. лет и более с точностью от 5 до 10 %. Нижний и верхний пределы определения возраста зависят от свойств конкретного образца: нижний зависит от скорости накопления дозы и чувствительности детектирования люминесценции, верхний – от характеристик насыщения и стабильности люминесцентного сигнала [1].



Со времени своего изобретения в 1984 г. [13] ОСЛ-датирование находит широкое применение в археологических исследованиях, помогая устанавливать хронологические рамки археологических событий и связь между различными археологическими артефактами, тем самым позволяя отслеживать развитие цивилизаций с течением времени. С помощью ОСЛ-датирования можно получить ценную информацию о времени заселения человеком тех или иных мест, о хронологии изменений окружающей среды и эволюции ландшафтов. Кроме того, ОСЛ-метод произвел революцию в области археологического датирования, позволив определять возраст событий, находящихся далеко за пределами возможностей радиоуглеродного анализа. С помощью ОСЛ-датирования можно оценить не только возраст осадков, вмещающих археологические артефакты, но и датировать керамику, обожженные кирпичи, строительные растворы и т. д.

С развитием инструментальной базы расширяются возможности применения ОСЛ-метода в археологии. Появление способа датирования по отдельным зернам минералов позволило не только минимизировать количество образца, необходимое для анализа, но и сделало возможным выявление любых нарушений в культурных слоях с течением времени. Изобретение методов датирования поверхности горных пород позволило непосредственно определять время создания каменных артефактов и конструкций, возраст которых ранее определялся лишь косвенно на основании их стратиграфической связи с датировемыми отложениями или типологического сходства с другими артефактами известного возраста [12]. К настоящему времени с помощью датирования поверхности горных пород уточнен возраст гравийной мостовой Родедийского культового комплекса в Эйлатских горах (пустыня Негев) [18], древней каменной стены Хатт-Шебиб в Иордании [4; 5], пустынных геоглифов на побережье Перу [8], загона для скота в долине Валь-ди-Соле на севере Италии [2], петроглифов в стиле Барьерного каньона в штате Юта (США) [6; 17], петроглифов левантийского и схематического стилей пещерной стоянки Пенья-дель-Эскрито на востоке Испании [16] и т.д. Кроме того, датирование поверхности горных пород использовалось для определения времени перестройки кирпичной стены монастыря Чертоза-ди-Павия в Италии [10; 11], для подтверждения возраста строительства египетских и греческих гробниц и монументов [14; 15] и даже для определения сроков использования точильного камня, раскопанного недалеко от г. Орхус в Дании [9].

На сегодня в лаборатории ОСЛ ФГБУ «Институт Карпинского» выполнено датирование четырех археологических памятников: двух по осадкам, вмещающим археологические артефакты (неолитическое поселение Ракушечный Яр на берегу р. Дон (Ростовская область) и среднепалеолитическая стоянка-мастерская Хаджох-2 на Северо-Западном Кавказе), и двух по строительным растворам (древней крепостной стены Староладожской крепости и пристройки в Леринском монастыре во Франции). Кроме того, ведется активная работа по датированию поверхности горных пород с целью определения возраста Майдашинской писаницы – древнейших наскальных изображений Минусинской котловины (Красноярский край).

### Литература

1. Вагнер Г. А. Научные методы датирования в геологии, археологии и истории. – М. : Техносфера, 2006. – 576 с.
2. Ageby L., Angelucci D. E., Brill D. et al. Rock surface IRSL dating of buried cobbles from an alpine dry-stone structure in Val di Sole, Italy // *Quaternary Geochronology*. – 2021. – No. 66. – P. 101–212.
3. Aitken M. J. *An Introduction to Optical Dating*. – Oxford : Oxford University Press, 1998. – 267 с.
4. Al Khasawneh S., Murray A., Abudana F. A first radiometric chronology for the Khatt Shebib megalithic structure in Jordan using the luminescence dating of rock surfaces // *Quaternary Geochronology*. – 2018a. – No. 49. – P. 205–210.
5. Al Khasawneh S., Murray A., Thomsen K. et al. Dating a near eastern desert hunting trap (kite) using rock surface luminescence dating // *Archaeological and Anthropological Sciences*. – 2018b. – No. 11. – P. 2109–2119.
6. Chapot M. S., Sohbat R., Murray A. S. et al. Constraining the age of rock art by dating a rockfall event using sediment and rock-surface luminescence dating techniques // *Quaternary Geochronology*. – 2012. – No. 13. – P. 18–25.
7. Duller G. A. T. *Luminescence Dating: guidelines on using luminescence dating in archaeology*. – Swindon : English Heritage, 2008. – 44 с.
8. Feathers J., More G. M., Quinterosc P. S. et al. IRSL dating of rocks and sediments from desert geoglyphs in coastal Peru // *Quaternary Geochronology*. – 2018. – No. 49. – P. 177–183.

9. *Freiesleben T., Sohbaty R., Murray A.* et al. Mathematical model quantifies multiple daylight exposure and burial events for rock surfaces using luminescence dating. // *Radiation Measurements.* – 2015. – No. 81. – P. 16–22.
10. *Galli A., Martini M., Maspero F.* et al. Surface dating of bricks, an application of luminescence techniques // *The European Physical Journal plus.* – 2014. – No. 129:101.
11. *Galli A., Artesani A., Martini M.* et al. An empirical model of the sunlight bleaching efficiency of brick surfaces // *Radiation Measurements.* – 2017. – No. 107. – P. 67–72.
12. *Gliganic L. A., McDonald J., Meyer M. C.* Luminescence rock surface exposure and burial dating: a review of an innovative new method and its applications in archaeology // *Archaeological and Anthropological Sciences.* – 2024. – No. 16:17.
13. *Huntley D. J., Godfrey-Smith D. I., Thewalt M. L. W.* Optical dating of sediments // *Nature.* – 1985. – No. 313. – P. 105–107.
14. *Liritzis I., Vafadou A.* Surface luminescence dating of some Egyptian monuments: case study // *Journal of Cultural Heritage.* – 2014. – No. 16. – P. 134–150.
15. *Liritzis I., Polymeris G. S., Vafadou A.* et al. Luminescence dating of stone wall, tomb and ceramics of Kastrouli (Phokis, Greece) Late Helladic settlement: Case study // *Journal of Cultural Heritage.* – 2019. – No. 35. – P. 76–85.
16. *Moayed N. K., Sohbaty R., Murray A. S.* et al. Rock surface luminescence dating of prehistoric rock art from central Iberia // *Archaeometry.* – 2023. – No. 65(2). – P. 319–334.
17. *Pederson J. L., Chapot M. S., Simms S. R.* et al. Age of Barrier Canyon-style rock art constrained by cross-cutting relations and luminescence dating techniques // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA.* – 2014. – No. 111(36). – P. 1–6.
18. *Sohbaty R., Murray A. S., Porat N.* et al. Age of a prehistoric “Rodedian” cult site constrained by sediment and rock surface luminescence dating techniques // *Quaternary Geochronology.* – 2015. – No. 30. – P. 90–99.

## СОДЕРЖАНИЕ

### РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОДИНАМИКА И ГЕОХРОНОЛОГИЯ

<i>А. П. Беляков, В. Ю. Водовозов.</i> Палеомагнетизм метаморфизованных толщ – опыт изучения нижнепротерозойских песчаников удоканского комплекса юга Сибирского кратона .....	6
<i>Д. И. Гилязов, М. А. Калинин, А. Д. Савельев.</i> Особенности вещественного состава и возраст кимберлитов Верхнекуонамского кимберлитового поля .....	9
<i>Д. Р. Донченко, Е. Ю. Акимова, А. Д. Савельев, К. Е. Васюкевич.</i> Особенности геологического строения линзовидных тел метакарбонатных пород хапчанской серии, юго-запад Анабарского щита .....	12
<i>М. А. Ефремов, Н. А. Алфимова.</i> Минеральный состав пород западно-биригиндинского карбонатитового массива, Анабарский щит .....	14
<i>Ю. В. Кисельников, А. Г. Шнейдер, В. Ф. Проскурнин.</i> Оценка Р-Т условий метаморфизма вулканогенных пород борзовского потенциального рудного узла (Северо-Восточный Таймыр) .....	16
<i>И. Н. Королева.</i> Экспертиза проектной документации на проведение работ по региональному геологическому изучению недр .....	20
<i>Д. А. Кревсун, Р. В. Веселовский, Т. Э. Багдасарян, А. В. Чистякова.</i> Текущее состояние изученности территории Российской Федерации методами трековой геотермохронологии: база данных трековых определений “RUFT” .....	23
<i>И. Е. Лебедев, А. М. Пасенко.</i> Новые геохронологические и палеомагнитные данные по чукотскому сегменту ОЧВП (в пределах окрестностей залива Креста, Чукотский АО) .....	24
<i>Л. П. Никитина, Н. И. Пономарева, В. Н. Бочаров, Н. С. Власенко, В. Ф. Проскурнин, А. Н. Сироткин, Н. М. Столбов.</i> К вопросу об условиях формирования оливин-шпинелевой ассоциации в мантийных ксенолитах из базальтоидов острова Жохова (Новосибирские острова) .....	26
<i>А. Д. Савельев.</i> К вопросу о протерозойско-вендских базитовых комплексах Анабарского щита .....	28
<i>В. Д. Шалимов.</i> Геологическое строение южной части кунар-серебрянского золоторудного узла полуострова Челюскин (Красноярский край) .....	31
<i>Н. В. Шатова, В. Г. Куричев, К. Н. Мазуркевич.</i> Геохимическая характеристика синколлизийных гранитоидов мелового возраста на примере алярмаутской площади, Чукотка .....	35
<i>А. А. Шейков, С. К. Шельтинг.</i> Комплексные геологосъемочные работы в северо-восточной части Чёрного моря: новые данные .....	38
<i>С. К. Шельтинг, А. А. Шейков.</i> Особенности геологического строения морской части листов L-36-XXXV, L-36-XXXVI И K-36-VI по результатам геологической съемки .....	41

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ИЗУЧЕНИИ НЕДР И ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

<i>Н. Н. Анисимов, Ю. А. Чуриков, А. А. Самсонов.</i> Определение долеритов по данным дистанционного зондирования Земли на примере Алакит-Мархинского и Далдынского кимберлитовых полей (Республика Саха, Якутия) .....	45
<i>М. М. Бешок, М. С. Корнева.</i> Сравнение новейших моделей гравитационного поля, полученных по спутниковым альтиметрическим данным на акваториях .....	47
<i>Е. И. Глушан.</i> Опыт моделирования по магнитному полю на примере работ по заверке аэрогеофизических аномалий на Попигайской площади .....	51
<i>Ю. С. Гольшиева, О. А. Тарасова.</i> Сравнительный анализ глубинных плотностных характеристик кратонов и орогенов Дальневосточного региона .....	54
<i>Т. Р. Зарипов, Н. В. Лубнина.</i> Предварительные результаты палеомагнитных исследований полосчатых железистых кварцитов (BIF) главной рудной толщи Костомукшского зеленокаменного пояса Карельского кратона .....	58
<i>М. П. Козлов, Н. П. Сенчина, Э. И. Исмаилова.</i> Изучение сдвиговых структур нефтегазоносных регионов на основе комплекса геофизических данных (на примере участка в Западной Сибири) .....	61
<i>А. Ю. Каширский.</i> Создание сейсмических разрезов, отображающих глубинное строение земной коры на основе обработки речных сейсмических материалов .....	63
<i>В. Г. Куричев, К. Н. Мазуркевич, Д. Е. Зубов.</i> Комплексное использование аэрогеофизических и геологических методов картирования на примере ГДП-200 листов R-58-XXVII, XVIII .....	65
<i>А. Ф. Лазарев.</i> Опыт внедрения непрерывной магнитной съемки (НМС) при производстве наземных геофизических работ. Первые результаты применения НМС при поисках полигенного уранового оруденения типа несогласия .....	68
<i>Р. А. Леденгский.</i> Прогнозирование золото-серебряного оруденения по аэрогеофизическим данным на северном фланге Балыгычано-Сугойского прогиба .....	76
<i>А. Н. Наумова, Т. В. Давыдкина, А. А. Янкилевич.</i> К вопросу о выборе оптимального значения сопротивления однородного полупространства стартовой модели для 2D инверсии магнитотеллурических данных .....	79
<i>Д. Л. Устюгов, Э. Л. Ноа Сегура.</i> Прогноз изменения уровней подземных вод на основе дистанционного зондирования Земли (на примере гидрологического района Ла-Яна, Республика Куба) .....	82
<i>А. С. Данилов, Е. А. Сердюкова.</i> Использование данных дистанционного зондирования Земли в борьбе с загрязнением океана пластиком .....	85
<i>П. К. Синица, А. А. Черных, И. В. Яковенко, М. С. Корнева.</i> Создание структурно-тектонической схемы восточного сектора Арктического шельфа России на основе геолого-геофизических данных .....	88
<i>А. В. Караваев, А. Г. Федоров.</i> Гидрогеологический мониторинг в пределах разрабатываемых железорудных месторождений Курской магнитной аномалии .....	93
<i>И. А. Шуклин, А. С. Егоров.</i> Особенности глубинного строения земной коры района озера Восток .....	96

## ГЕОЛОГИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

<i>Д. К. Абдихамитов, Ю. М. Медведева, П. Е. Чистилин, А. А. Брехт, М. С. Жондильяева, С. Р. Мусабаев, Б. Б. Раисов, Л. С. Вятченникова.</i> Влияние распределения содержаний урана в рудах месторождений пластово-инфильтрационного типа на процесс подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) . . . . .	101
<i>Н. А. Арешин.</i> Аналоговое физическое моделирование – важный инструмент при изучении рудных зон (пример Баимской рудной зоны, Чукотка) . . . . .	106
<i>Е. О. Барабаш, О. А. Иванова, В. П. Афанасьев.</i> Минералогический метод поиска месторождений алмазов: проблемы и решения . . . . .	110
<i>Т. Э. Багдасарян, Р. В. Веселовский, А. В. Чистякова, Д. А. Кревсун.</i> Применение трекового анализа апатита (АФТ) для реконструкции тектоно-термальной эволюции древних платформ: опыт и результаты . . . . .	111
<i>Л. Д. Бардухинов, Е. М. Седых, В. Ю. Лодыгина.</i> Особенности морфологии крупных алмазов из промышленных месторождений Якутии . . . . .	113
<i>Л. Д. Бардухинов, В. Ю. Лодыгина.</i> Особенности оптико-спектроскопических характеристик крупных алмазов из промышленных месторождений Якутии . . . . .	116
<i>М. В. Бондаренко, Е. А. Тихонова, Ю. А. Ермаков.</i> Проблемы рентабельности добычи изумрудного сырья в России . . . . .	120
<i>Д. М. Вурмс.</i> Минеральный состав и геохимия хромититов Южного Сарановского массива, Пермский край . . . . .	122
<i>К. А. Грибушин.</i> Геолого-генетическая типизация золото-серебряных проявлений Шумшу-Парамуширского рудного района (Курильские острова) . . . . .	124
<i>Е. Г. Еременко, А. И. Несмеянова, А. В. Саранчин.</i> Анализ состава гидротермально-метасоматических изменений с применением аппаратуры портативной ик-спектроскопии . . . . .	126
<i>А. А. Заплавнова.</i> Критерии поиска скрытого оруденения западного обрамления Кузнецкого Алатау по результатам магнитотеллурических зондирований . . . . .	131
<i>Н. С. Касаткин, А. А. Аленичева, И. В. Таловина, Н. В. Родионов.</i> Определение элементов-примесей в аксессуарных цирконах как индикаторов потенциальной рудоносности магматических пород в отношении медно-порфирового оруденения на площади листов О-55,56 при создании Госгеолкарты-1000 третьего поколения . . . . .	134
<i>А. В. Кирсанова</i> Мультиспектральное спутниковое картирование метасоматически измененных пород Ульяновского прогиба (Охотско-Чукотский вулканический пояс, Хабаровский край) . . . . .	138
<i>Е. Д. Костина, П. Н. Лейбгам, А. М. Вьюкова, А. Н. Краснов.</i> Геохимические особенности и минеральный состав шлихов медно-порфирового и сопряженного с ним золото-сульфидно-кварцевого оруденения на Шхиперовской площади (Магаданская область) . . . . .	149
<i>А. В. Кузнецов, А. В. Чумакова, И. В. Таловина, О. П. Мезенцева.</i> Минерально-геохимические особенности сульфидов и оксидов золотоносных кор выветривания зеленокаменного пояса Магонди (северо-западная часть Республики Зимбабве) . . . . .	153
<i>Д. В. Кузнецов.</i> Применение портативного рентгенфлуоресцентного спектрометра для контроля рудоносных минерализованных зон на месторождении рудного золота Пещерное (Средний Урал) . . . . .	156

<i>В. Г. Куричев, Н. В. Шатова, К. Н. Мазуркевич.</i> Разнообразие гранитоидов сухарнинского комплекса на примере Левоконеваамского массива (Чукотка): U-Pb возраст, петрографическая характеристика .....	160
<i>А. М. Легенькова.</i> Вещественная характеристика и прогнозные ресурсы рудного поля Пюи де Фоль .....	163
<i>П. Н. Лейбгам.</i> Минералогия и условия образования девонского эпитеpmального рудопроявления Каларское (Горная Шория) .....	166
<i>Г. Г. Мальцев, А. С. Якубчук.</i> Структурный контроль Дукатского золото-серебряного месторождения .....	169
<i>И. П. Мамаев.</i> Генезис марганцевых руд Присаянья .....	172
<i>С. Л. Новочадов, В. В. Шаранов, А. А. Николаев.</i> Результаты региональных среднемасштабных геологосъемочных работ и перспективы ресурсной базы неметаллических полезных ископаемых Центрального экономического района .....	174
<i>В. А. Прозоров, К. А. Полбина, Н. А. Гребенкин, И. А. Мишин, Е. Н. Карманов, А. М. Чепчугов.</i> Рудно-метасоматическая зональность в зоне окисления месторождения Северное (Эльконский УРР, Республика Саха (Якутия)) .....	177
<i>Д. Д. Секерина, А. С. Егоров.</i> Реконструкция истории развития и прогноз рудогенеза Рудного Алтая по данным глубинного геолого-геофизического моделирования ..	180
<i>А. Ю. Тебаева, Д. А. Ибрагимова, Д. Ю. Пак, Ю. Н. Пак.</i> Природная радиоактивность ископаемых углей: проблемы и перспективы использования .....	183
<i>И. В. Трифонов, А. С. Кожемян, Е. А. Прохоров, С. П. Цыханвей, Л. А. Каримов, М. В. Кондратьев.</i> Золоторудное проявление Хатуноя: последовательность минералообразования и специфика связей гидротермалитов и оруденения .....	186
<i>Л. М. Тынысова, О. П. Шиловский.</i> Геохимические особенности железных руд Печегубского месторождения (Кольский полуостров) .....	189
<i>Н. Хамдард, С. Г. Скублов.</i> Редкоэлементный состав Fe-Mn гранатов как индикатор вертикальной зональности сподуменовых пегматитов и потенциальный поисковый критерий (на примере месторождения Пашки, Афганистан) .....	193
<i>А. М. Чепчугов, Н. В. Леденева, К. А. Полбина, Е. Н. Карманов, В. А. Прозоров.</i> Геологические и минералогические аспекты создания историко-геологической модели Тууюканского урановорудного поля .....	196
<i>Ю. А. Чуриков, Е. П. Пшеченкова, А. А. Самсонов.</i> Ресурсный потенциал Sc-содержащих техногенных образований .....	199

## СТРАТИГРАФИЯ И ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

<i>М. Л. Барановская, Д. М. Смирнов.</i> Слои с <i>Balanoglossites</i> как маркирующий уровень староизборской свиты (нижний фран, Псковская область) .....	203
<i>К. А. Дубкова, В. А. Чеботарева, С. Б. Шишлов.</i> Палеогеографические условия накопления нижнего готерива Юго-Западного и Центрального Крыма .....	206
<i>Б. М. Попов.</i> Новые микропалеонтологические данные по ключевым разрезам среднего и верхнего девона западной части Алтае-Саянской складчатой области ...	209
<i>Е. С. Разумкова, Е. В. Замарев.</i> Применение метода экогрупп спороморф (СЭГ-анализ) для палеоэкологических реконструкций на примере палинологического изучения среднего триаса Карского моря .....	211

<i>В. А. Чеботарева, К. А. Дубкова, С. Б. Шишов.</i> Геохимические индикаторы условий формирования пограничного интервала сеномана–турона Юго-Западного Крыма .....	215
<i>В. А. Черкасов, А. Т. Корольков.</i> Шаманский разрез нижней части чехла сибирской платформы (венд, Иркутская область) .....	217
<i>В. А. Четверова.</i> Зональные виды дисперсных миоспор из триаса Южно-Баренцевской впадины Баренцевоморского шельфа .....	220
<i>В. А. Шамаков, Е. А. Языкова.</i> Раннемеловые аммониты северо-западного обрамления Тихого океана и их стратиграфическое значение .....	223
<i>С. В. Межеловская, К. Г. Ерофеева, А. Д. Межеловский, К. И. Юшин, А. С. Дубенский.</i> Верхняя возрастная граница осадочно-вулканогенных пород киричской свиты (нижний протерозой, Ветреный пояс) .....	226
<i>Парфэ Реми Шарли Жан-Клод, Г. Н. Киселев.</i> <i>Volborthella tenuis</i> F. Schmidt (ранний кембрий) из коллекции А. П. Карпинского ЦНИГР музея им. Ф. Н. Чернышева: опыт применения методов электронной микроскопии Ресурсного центра СПбГУ .....	228

## ЭКОЛОГИЯ БОЛЬШИХ ГОРОДОВ И ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН МОРСКИХ БАССЕЙНОВ

<i>Дугганна Ралалаге Кавиша Бандара, Н. А. Бродская.</i> Воздействие техногенного грунтового стока в реке Луга на акваторию Лужской губы Финского залива .....	233
<i>Р. А. Дьячковский, Е. Ю. Чебыкина.</i> О некоторых первичных результатах эколого-геохимического обследования намывных территорий города Санкт-Петербург в 2022–2024 гг. ....	237
<i>А. В. Евдокименко, А. Н. Сукнотова, О. Г. Видергольд, Е. И. Куталия.</i> Разработка системы мониторинга и учета зеленых насаждений с помощью нейросетей ...	240
<i>Жэнь Ицянь, Д. И. Зеликман.</i> Эффективность акваториальных электротомографических исследований при проведении инженерно-геологических изысканий в прибрежных зонах .....	244
<i>В. И. Космаков, И. В. Космаков, А. А. Самсонов.</i> Некоторые аспекты законодательства в области накопления, хранения и использования отходов недропользования для рекультивации нарушенных земель Лесного фонда .....	246
<i>К. В. Кравцова, С. А. Романюкина, Т. Р. Еремина, Д. И. Шарипова, В. М. Егорова, П. О. Адамовская, Н. С. Фролова.</i> Анализ индикаторов эвтрофирования Выборгского залива по данным наблюдений .....	248
<i>Е. В. Крестьянникова, А. Беляновская, Н. В. Барановская.</i> Сезонная изменчивость концентраций железа и марганца в источниках воды питьевого назначения города Тюмень .....	252
<i>Е. А. Лопатников, В. В. Саттарова, К. И. Аксентов.</i> Геохимия донных осадков Берингова моря и северо-западной части Тихого океана .....	255
<i>А. М. Маковиз, Г. А. Черкашев.</i> Реконструкция гидротермальной деятельности на основе изучения колонок донных осадков (рудное поле Ашадзе-1, Срединно-Атлантический хребет) .....	258
<i>И. И. Подлипский, П. С. Зеленковский.</i> Оценка состояния донных отложений рек Гатчинского района Ленинградской области .....	263

<i>М. С. Сусин, Е. В. Архипова.</i> Проблема электромагнитного загрязнения на примере города Серпухов .....	267
<i>А. Е. Тельнов.</i> Оценка экологического воздействия техногенных месторождений на почвы города Закаменск (Республика Бурятия) .....	270

## ГОРЮЧИЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ: ГЕОЛОГИЯ, РАЗРАБОТКА, СОПУТСТВУЮЩИЕ РЕСУРСЫ

<i>Т. М. Белоногов.</i> К вопросу о формировании Ярегского нефтяного месторождения ...	273
<i>Е. П. Васильева.</i> Основные закономерности связи нефтегазоносности и радиоактивности на примере некоторых нефтяных месторождений Бугульминской площади .....	276
<i>Е. А. Делиу.</i> Новые данные о стратиграфическом несогласии в нижнеюрских отложениях Вилуйской синеклизы .....	280
<i>И. А. Довгань, Е. И. Грохотов, А. В. Чумакова.</i> Проблемы и способы прогнозирования трещиноватости геофизическими методами .....	283
<i>Е. В. Колесников.</i> Направления геологоразведочных работ на нефть и газ в юго-восточной части Денисовской впадины Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции .....	287
<i>К. А. Комин.</i> Особенности инженерно-геологических условий Пильтун-Астохского нефтегазоконденсатного месторождения .....	290
<i>А. Н. Корбутяк, Н. С. Фролова.</i> Применение метода аналогового моделирования для понимания механизмов формирования ловушек углеводородов на севере Западной Сибири .....	294
<i>В. В. Кузнецов.</i> Особенности состава углеводородов на больших глубинах .....	297
<i>А. В. Логинова, М. Г. Полуянов.</i> Особенности оценки запасов лития и других полезных компонентов в попутных водах, извлечение которых связано с разработкой углеводородного сырья (УВС) .....	299
<i>А. А. Халин.</i> Особенности размещения углекислого газа в пластах горных пород. Динамика развития на территории Российской Федерации .....	302
<i>А. Н. Меркулова, С. В. Шиманский.</i> Нефтегазовый потенциал и характеристика нефтегазоносных комплексов континентальной части Балтийской самостоятельной нефтеносной области (СНО) .....	304
<i>К. Р. Никонов, М. А. Ткаченко.</i> Выделение и оценка перспективности ресурсов категории D локальных объектов на листах S-47,48 и 49 .....	306
<i>Т. С. Рябцева.</i> Применение топологического метода при исследовании трещиноватости месторождения Кузнецкого угольного бассейна на шахте «Октябрьская» ..	309
<i>Е. А. Юровских, Р. К. Непоп.</i> Влияние слоистости на упруго-прочностные свойства глинистых отложений по данным керновых исследований .....	314
<i>А. М. Яшмолкин, Ю. В. Нефедов, Н. Н. Востриков, А. В. Логинов.</i> Выявление особенностей фациальной зональности аптских отложений покурской свиты с использованием сейсмических данных, ГИС и седиментологического анализа керна ..	317



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ И ИИ

- А. М. Асавин, С. С. Баскаков, А. В. Литвинов, Е. И. Чесалова.* Современные беспроводные системы мониторинга разработки рудных месторождений, обеспечивающие технологическую революцию индустрии-4. Ограничения, реализация, перспективы – обзор ..... 323
- Н. Н. Валеев.* Технология построения плотностных моделей геологической среды в комплексе ГИС INTEGRO ..... 328
- А. В. Карамышев.* Нейросетевое картирование металлотектов по комплексным геофизическим данным ..... 332
- И. И. Куприянова, Л. А. Кувшинова, К. А. Кувшинова, Н. И. Клименцова.* Архив ВИМСа по коллекциям «Бериллиевые месторождения России и стран СНГ», оцифрованный И. И. Куприяновой (методология «вкачивания» информации в систему управления базами данных (СУБД) ..... 334
- А. Е. Мусатов.* Использование программы Минерал С7 для решения задач по технологической минералогии на примере Удоканского месторождения ..... 335
- А. И. Павловский, Е. Ю. Нарыжнова, Е. В. Бильдюк.* Использование геоинформационной системы GOLDEN SOFTWARE SURFER в геологической отрасли на примере месторождений строительных горных пород Республики Беларусь ... 338
- О. Б. Пономарев, И. И. Никулин.* Перспективы использования сверточных нейронных сетей при обработке ограниченного количества сейсмических данных ..... 341
- И. В. Спиридонов.* Применение ГИС INTEGRO при комплексном анализе геофизических данных для оценки коллекторских свойств осадочных формаций ..... 344
- М. М. Талыбова, Д. А. Староселец.* Сопоставление алгоритмов машинного обучения на основании результатов литологической интерпретации по данным ГИС .... 347
- А. С. Шаталова, О. Б. Пономарев.* Вариативность интерпретации исходной информации при моделировании геофильтрационных процессов в слоистых комплексах осадочных пород ..... 350

## ЧЕТВЕРТИЧНАЯ ГЕОЛОГИЯ

- М. А. Бродский, М. М. Дорошенков, А. С. Васильев.* Вопросы геологического изучения новых территорий: различия серийных легенд, применяемые методики картирования и проблемы корреляции выделяемых подразделений ..... 359
- А. С. Гладышева, Д. В. Назаров, О. А. Никольская, С. В. Жигмановская.* Ледниковые комплексы плейстоцена Горного Алтая ..... 361
- Г. Б. Поспехов, В. А. Изотова, Л. П. Норова.* Специфика определения гранулометрического состава гипсодержащих отходов ..... 363
- А. В. Колбанова, О. А. Никольская.* Новые данные о возрасте лимния белогорской свиты квартера в долине реки Зея (Амурская область) ..... 367
- Д. Н. Костин.* История развития природной среды Северо-Западного Таймыра в верхнем неоплейстоцене ..... 368
- Д. М. Лобачева, В. В. Фомин.* Бэровские бугры Северного Прикаспия: новые результаты математического моделирования ..... 370

<i>И. Е. Сидорина, Мила Дома Юлиеми.</i> Геоморфологическое исследование рельефа и дренажа картографического листа района Лос-Паласиос, Куба, масштаб 1 : 50 000 .....	373
<i>Г. В. Мирсанов, А. С. Гладышева, И. В. Жигмановский, Д. В. Назаров.</i> Происхождение и возраст террас в долине реки Малый Енисей (Каа-Хем) в нижнем его течении .	377
<i>В. С. Новиков, А. В. Дарьин, Н. А. Рудая.</i> Микроэлементный состав донного осадка озера Нижнее Мультиинское (Горный Алтай) как основа палеоклиматических реконструкций .....	378
<i>Д. О. Паршин, Д. В. Назаров, О. А. Никольская, И. В. Жигмановский, С. В. Жигмановская, Г. В. Мирсанов, Д. М. Лобачева.</i> Новые данные о четвертичных образованиях Центральной Камчатской депрессии .....	380
<i>А. К. Румянцева, А. Ю. Сергеев, Л. М. Буданов, О. В. Дронь, Д. В. Рябчук.</i> Новые геолого-геофизические данные по изучению озера Ханка .....	381
<i>В. И. Сушкова, М. А. Маринин.</i> Полевые опытно-фильтрационные работы в штабеле кучного выщелачивания .....	385
<i>А. А. Черезова, И. В. Тимофеева, М. В. Ручкин, Д. В. Назаров.</i> ОСЛ-датирование в археологии .....	387

*Электронное научное издание*

**ГЕОЛОГИЯ XXI ВЕКА.**  
**ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**  
**РЕГИОНАЛЬНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Материалы VI Международной конференции  
молодых ученых и специалистов памяти академика А. П. Карпинского

Корректор *Е. А. Зотова*  
Технический редактор *А. С. Смирнова*  
Компьютерная верстка *А. М. Жерлицина*

Подписано к использованию 26.12.2024. Объем 126 Мб.  
Тираж 50 дисков. Заказ 5243000

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический  
институт им. А. П. Карпинского» (ФГБУ «Институт Карпинского»)  
199106, Санкт-Петербург, Средний пр., 74  
Тел. 328-90-90 (доб. 23-23). E-mail: izdatel@karpinskyinstitute.ru

Записано на электронный носитель  
на Картографической фабрике Института Карпинского  
199178, Санкт-Петербург, Средний пр., 72  
Тел. 328-91-90, 321-81-53. E-mail: karta@karpinskyinstitute.ru

ISBN978-5-00193-901-6



9 785001 939016