

Перспективы ураноносности восточной части Амуро-Зейской впадины (Нижне-Бурейская площадь)

В результате анализа литолого-стратиграфических, геофизических, геохимических, гидрогеологических, ландшафтно-геоморфологических материалов, дешифровочных данных аэрокосмических съемок выделены металлотекты локализации гидрогенного уранового оруденения на территории восточной части Амуро-Зейской впадины и определены площади для постановки поисковых работ.

Ключевые слова: гидрогенное урановое оруденение, палеодолины, поверхностные месторождения, уран, Амуро-Зейская впадина.

A. A. PUGOVKIN, G. B. LEBEDEVA (VSEGEI)

Uranium mineralization potential in the eastern part of the Amur-Zeya depression (Nizhnyaya Bureya area)

Analysis of lithostratigraphic, geophysical, geochemical, hydrogeological, landscape-geomorphological materials, interpretation data of aerospace surveys allowed identification of metallotects of hydrogenic uranium mineralization location and outlining exploration prospects in the eastern part of the Amur-Zeya depression.

Keywords: Hydrogenic uranium mineralization, paleovalleys, surface ore deposits, uranium, Amur-Zeya depression.

Как цитировать эту статью: Пуговкин А. А., Лебедева Г. Б. Перспективы ураноносности восточной части Амуро-Зейской впадины (Нижне-Бурейская площадь) // Региональная геология и металлогения. — 2019. — № 79. — С. 77–88.

Первые сведения об ураноносности площади изложены в работе Н. Н. Васильева и др. (2000 г.), где высказано мнение о проявлении в регионе верхнемеловой и неогеновой эпох экзогенной миграции и накопления урана. Перспективы локализации гидрогенного уранового оруденения Амуро-Зейской впадины в целом рассматривались А. А. Коковкиным (А. А. Коковкин, 2014).

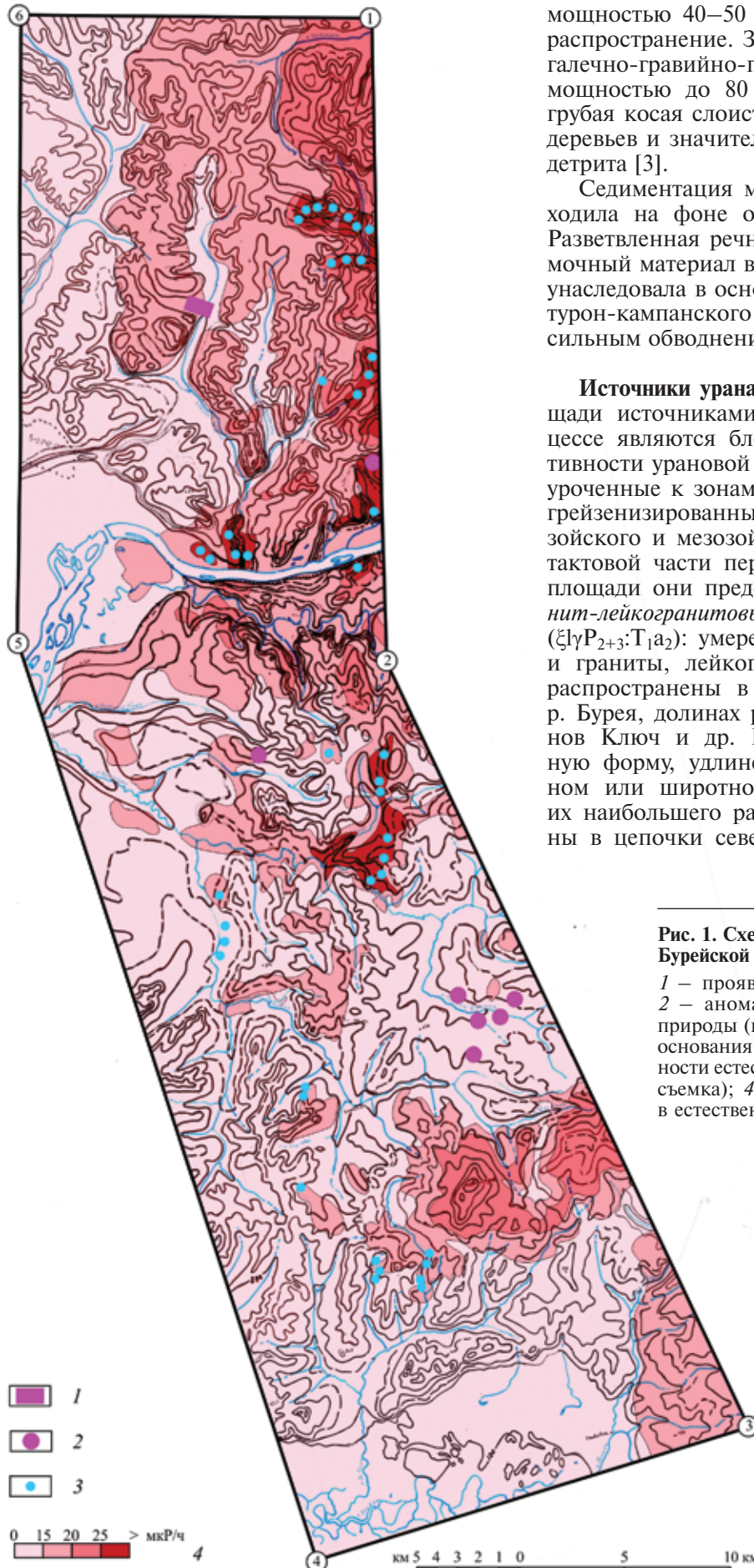
В период с 2015 по 2017 г. на Нижне-Бурейской площади проведены опережающие геолого-геофизические работы на гидрогенный тип уранового оруденения, в рамках которых Норильским филиалом ВСЕГЕИ осуществлены аэрогеофизические исследования в масштабе 1 : 50 000 на площади 1416 км² (рис. 1).

Формирование гидрогенного уранового оруденения в палеодолинах на Нижне-Бурейской площади связывается с образованиями платформенного этапа развития, в которых по вещественному составу, условиям образования и геохимическим особенностям выделяют (снизу вверх): глинисто-песчаную пестроцветную (K_2t-km), глинисто-гравийно-песчаную сероцветную (K_2m), песчано-глинистую буроугольную ($P-N_1$) формации (рис. 2) [1].

Глинисто-песчаная пестроцветная формация (K_2t-m) представлена базальной частью осадочного чехла и залегает на подстилающих доверхнемеловых образованиях с седиментационным

перерывом и несогласием на абсолютных отметках от 0 до –400 м, не обнажается на дневной поверхности и вскрыта на полную мощность относительно небольшим количеством скважин, в связи с чем ее фациальный состав в контурах турон-кампанского седиментационного бассейна изучен лишь в самом общем виде (Н. Н. Васильев, 2000).

Наиболее вероятной рудовмещающей толщей для уранового оруденения в палеодолинах, по нашему мнению, можно считать маастрихтскую глинисто-гравийно-песчаную формацию (K_2m), отвечающую по объему цагайской свите. Она с размывом залегает на подстилающих отложениях осадочного чехла, трансгрессивно перекрывая их. Мощность отложений формации – 580 м. Подошва формации залегает на абсолютных отметках от –160 до –390 м. Формация состоит из ритмичного чередования песков, алевролитов, глин, гравийников и галечников озерно-аллювиального происхождения. Какой-либо закономерности в распространении литифицированных прослоев как по латерали, так и вертикали не наблюдается. В основании формации отмечен маломощный горизонт галечников или грубозернистых гравийных песчаников на карбонатном цементе, который перекрывается плотными бейделлит-монтмориллонитовыми аргиллитоподобными глинами зеленовато-серого цвета



мощностью 40–50 м, имеющими региональное распространение. Завершается разрез формации галечно-гравийно-песчаной пачкой пород общей мощностью до 80 м, для которой характерна грубая косая слоистость, кремненые обломки деревьев и значительная примесь растительного детрита [3].

Седиментация маастрихтского времени произошла на фоне общего воздымания региона. Разветвленная речная сеть, поставившая обломочный материал в седиментационный бассейн, унаследовала в основных чертах речные долины турон-кампанского времени, но отличалась более сильным обводнением [2].

Источники урана. На Нижне-Бурейской площади источниками урана в гидрогенном процессе являются блоки с аномалиями радиоактивности урановой и смешанной природы, приуроченные к зонам катаклаза и милонитизации грейзенизированных гранитоидов позднепалеозойского и мезозойского возрастов, в экзоконтактовой части пермо-триасовых интрузий. На площади они представлены *алтахтинским сиенит-лейкогранитовым комплексом*, второй фазой ($\xi\text{lyP}_{2+3}; \text{T}_{1a2}$): умереннощелочные лейкограниты и граниты, лейкограниты. Породы комплекса распространены в бассейне среднего течения р. Бурей, долинах рек Прямой Домикан, Романов Ключ и др. Массивы имеют неправильную форму, удлинены в северо-северо-восточном или широтном направлениях, в районах их наибольшего распространения сгруппированы в цепочки северо-восточного простирания,

Рис. 1. Схема общей радиоактивности Нижне-Бурейской площади

1 – проявление урана в осадочном чехле; 2 – аномалии радиоактивности урановой природы (пункты минерализации) в породах основания впадин; 3 – аномалии радиоактивности естественного гамма-поля (пешеходная съемка); 4 – шкала радиоактивности пород в естественном залегании

контролирующиеся параллельными тектоническими зонами. Размеры тел варьируют по площади от первых квадратных километров до первых десятков. Распределение пород хаотичное и для большинства плутонов имеет индивидуальный характер. Часть массивов с простым строением сложены кварцевыми сиенитами, которые в краевых зонах переходят в сиенит-порфиры. При пологом падении контактов ширина оторочки сиенит-порфиров достигает 200–400 м, при крутом (50° – 60°) она практически отсутствует. Для ряда массивов характерно двухфазное строение: роговообманковые сиениты, имеющие локальное распространение, прорываются лейкогранитами и умереннощелочными лейкогранитами. Разделение на породы первой и второй фаз в ряде случаев устанавливается с трудом из-за частых взаимопереходов либо тектонических контактов между ними [4].

Гранитоиды второй фазы слагают преимущественно мелкие тела, которые тяготеют к зонам катаклаза и милонитизации северо-восточного простирания или зонам пересечения разломов северо-восточного и северо-западного простираний. Для них характерны повышенная магнитная восприимчивость и радиоактивность, поэтому они уверенно фиксируются аэрогеофизическими методами. Выходам пород отвечает положительное дифференцированное магнитное поле интенсивностью более 2и и высокие содержания радиоактивных элементов.

На аэрофотоснимках описываемые породы не опознаются. Обратным дешифрированием выделяются лишь тела гранитов, расположенные среди катаклазированных позднепалеозойских гранитоидов в истоках р. Средняя Илга. Их характеризует более светлый фототон и отсутствие прерывисто-линейного рисунка, свойственного катаклазированным вмещающим породам.

Массивы алтаhtинского комплекса, расположенные среди позднедокембрийских отложений, окружены ореолами контактового метаморфизма шириной от нескольких десятков до сотен метров. Филлитовидные сланцы и алевролиты превращены в очковые кордиеритовые сланцы, переходящие в пятнистые; в мраморах около контактов с сиенитами наблюдается развитие тремолита, местами мраморы окварцованы. Чаще вмещающими являются гранитоиды палеозоя, в которых контактовое воздействие выражено окварцеванием, альбитизацией и лимонитизацией.

Дайковые породы включают кварцевые жилы, пегматиты, щелочные граниты, сиенит- и граносиенит-порфиры, реже грорудиты, бостониты и сельвсбергиты, а в пределах интрузивов — аплиты. Пегматиты сложены блоковыми агрегатами микроклина и кварца (до 5 см в поперечнике), сцементированными кварцевой массой, содержащей биотит, турмалин, гнезда циркона и монацита и призматические кристаллы ортита длиной до 3 мм. Мощность даек аплитов и пегматитов до 1 м, остальных — до 5–10 м, протяженность до 200–300 м.

Возраст алтаhtинского комплекса определяется по результатам радиологических определений из разных массивов: 227, 230, 252, 260 млн лет. С породами комплекса связано редкоземельно-бериллиевое и урановое оруденения.

Важный фактор, характеризующий гранитоидный комплекс в качестве источника урана, — гидротермально-метасоматические изменения, особенно альбитизация и грейзенизация [4].

Альбитизация предшествует грейзенизации и наблюдается чаще всего в двуслюдяных гранитах, проявляется во внешних зонах грейзенов и грейзенизированных пород. Альбит замещает микроклин, в том числе и метасоматического происхождения, с образованием пятнистых пертитов замещения; плагиоклаз подвергается деаортизации, иногда с выделением цоизита. Альбит в виде червеобразных новообразований, реже тонких прожилков, сечет все минералы в катаклазированных гранитах. Максимальное развитие процесса приводит к образованию почти мономинеральных альбититов. В центральной части площади они слагают мелкие тела мощностью 2–5 м и протяженностью до 150 м среди поля альбитизированных гранитов, которое охватывает грейзенизированные породы. В альбититах присутствуют реликты кварца, микроклина, реже биотита, а также новообразованные цоизит, эпидот, кварц. С альбититами связаны повышенные содержания урана и тория.

Грейзенизация отмечается фрагментарно в узких (100–300 м) зонах и приурочена к краевым частям массивов двуслюдяных и порфиroidных гранитов. Грейзены сложены кварцем (40 %), мусковитом (55 %), апатитом, рутилом, пиритом (5 %), в порфиroidных областях иногда присутствует топаз до 20 % и турмалин голубовато-синего цвета. В мусковите отмечена высокая примесь лития (до 5 %). В экзоконтакте отдельных тел гранитов, в зонах мощностью до 1–1,5 км и протяженностью до 5–6 км, обычно вдоль разломов, гранитоиды превращены в кварц-мусковитовые грейзены, грейзенизированные граниты и метасоматиты. Грейзенизация гранитоидов сопровождается характерной фтористо-борной и сульфидной минерализацией. Поля грейзенизированных пород, как правило, приурочены к зонам катаклаза северо-восточного простирания и генетически связаны с интрузиями алтаhtинского комплекса, так как повсеместно на площади имеют с ними пространственную связь. При петрографическом изучении разрезов выделены три стадии грейзенизации. Грейзенизация является наиболее важным процессом при формировании гидрогенных месторождений урана в палеодолинах в связи с преобразованием связанных в кристаллических решетках урансодержащих минералов в миграционноспособное состояние. Уран при этом извлекается из гранитов слабокислыми растворами, в том числе и поверхностными водами.

Другим источником урана являются коры выветривания. Раннемеловые коры

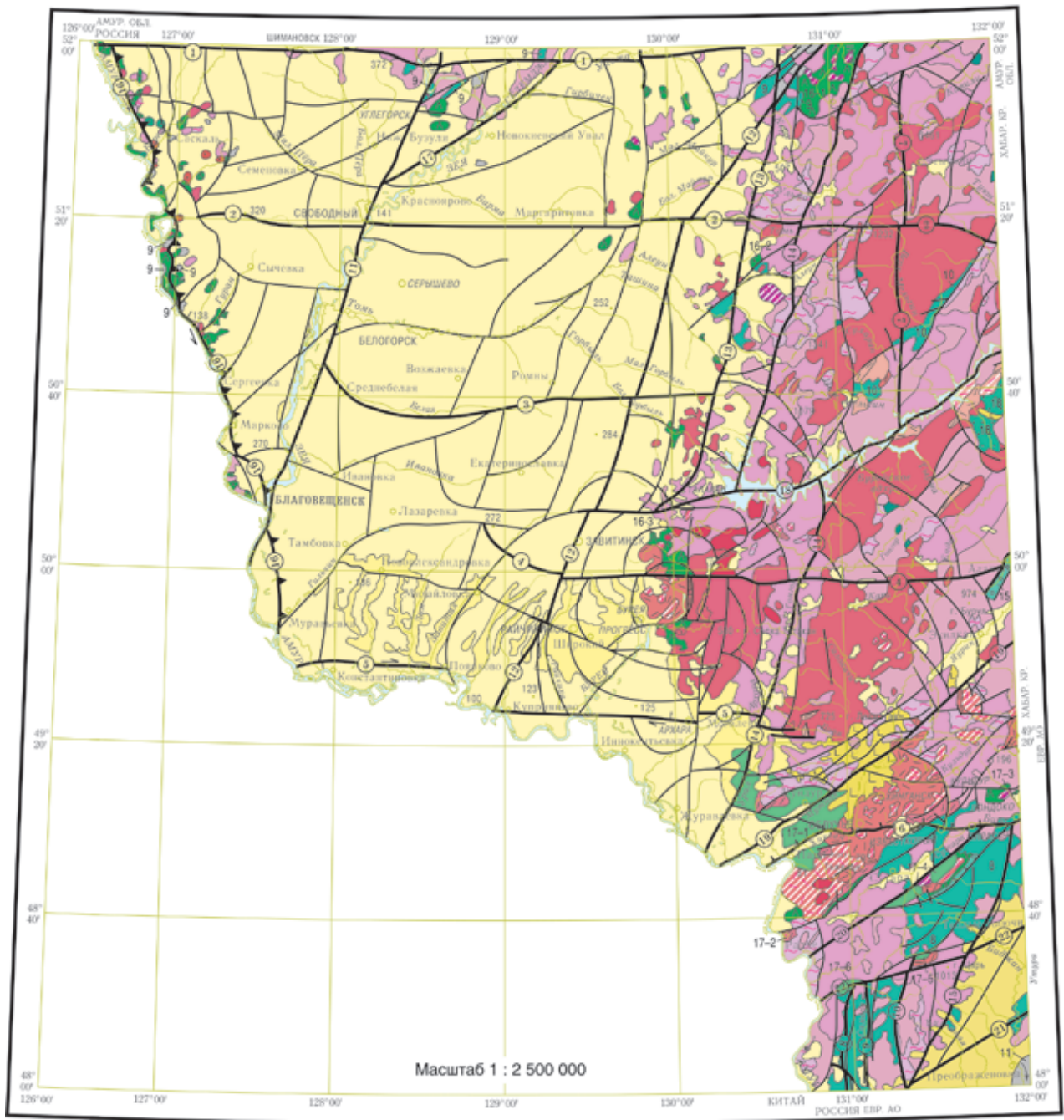
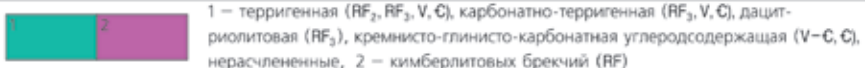


Рис. 2. Тектоническая схема (лист М-52)

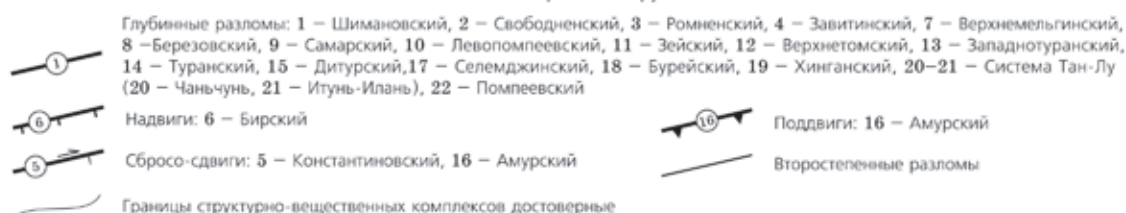
выветривания установлены при бурении в краевых частях Амуро-Зейской впадины. Под базальными слоями станолірської свити баррем-аптського віку вони представлені зоною дезинтеграції та ожезнення в підстилюючих слюдяно-кварцевих сланцях. Порода стаються цегляно-червоними. Потужність зони 9 м. Між поярковської та тараконської свитами встановлена кора виветривання по андезитобазальтам. На щільних темно-сірих андезитобазальтах залягають (знизу вгору): 1 – дресвяна кора дезинтеграції по виветрелым сургу́чым андезитобазальтам – 7,5 м; 2 – глина щільна коричнево-сіра з реліктами

первичної структури андезитобазальтів; склад глини – монтмориллоніт з примісью каолініта і гидрослюди – 37,3 м. Загальна потужність кори до 45 м. Схоже будівництво кори виветривання по палеозойським гранітам або андезітам спостерігається під верхньою підсвітою поярковської свити. Вік кори виветривання (ранній баррем) встановлений по її положенню в розрізі [5].

Позднемиловіе кори виветривання обнаружены в разрозненных скважинах, где цагайская свита налегает на выветрелые риодациты поярковской свиты или выветрелые песчаники нижнего девона. Дезинтегрированные

Структурные этажи	Элементы тектонического районирования, формации, геодинамические условия, возраст формаций
АЛЬПИЙСКИЙ	<p>КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ВПАДИНЫ И ПОКРОВЫ ПЛАТОБАЗАЛЬТОВ ВОСТОЧНО-АЗИАТСКОГО РИФТОГЕННОГО ПОЯСА</p>  <p>1 – галечно-глинисто-песчаная (N_1-Q_1) 2 – алеврито-глинистая угленосная (P_1-N_1) формации континентального рифта: 3 – угленосная верхняя моласса (P_1-Q_1) 4 – платобазальтовая (P_1, N_1, N_2-Q_1)</p>
ПОЗДНЕМЕЗОЗОЙСКИЙ – КАЙНОЗОЙСКИЙ	<p>ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ, ИНТРУЗИВНЫЕ МАССИВЫ ВОСТОЧНО-АЗИАТСКОГО ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ВУЛКАНО-ПЛУТОНИЧЕСКОГО ПОЯСА</p> <p>Восточно-Бурейская вулканоплутоническая зона</p> <p>Орогенно-магматические формации:</p>  <p>терригенная и вулканогенно-терригенная нижняя моласса (K_2) сиенит-лейкогранитовая (K_2); гранодиорит-гранитовая (K_2) известняково-песчано-глинистая формация внутренних морей (K_2) трахиандезит-трахириолитовая (K_2): 1 – покровных, 2 – субвулканических образований терригенная и вулканогенно-терригенная верхняя моласса (K_{1-2}) трахириолит-риолитовая (K_1): 1 – покровных, 2 – субвулканических образований терригенная нижняя моласса (K_1) габбро-монцодиорит-гранодиоритовая (K_1) риолит-дацит-андезитовая: 1 – покровных, 2 – субвулканических образований (K_1)</p>
РАННЕМЕЗОЗОЙСКИЙ	<p>Бурейский массив</p>  <p>терригенная нижняя моласса (J_3) и угленосная верхняя моласса внутриплатформенных впадин (J_3, J_2-K_1, K_1)</p>
ГЕРЦИНСКИЙ	<p>ФОРМАЦИИ КРАЕВЫХ И ВНУТРИПЛАТФОРМЕННЫХ ПРОГИБОВ В ОБЛАСТИ ШЕЛЬФА И ВНУТРИПЛАТФОРМЕННОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО И ПЛУТОНИЧЕСКОГО МАГМАТИЗМА</p>  <p>диорит-гранодиорит-гранитовая (J_3) риолитовая ($P_{2,3}; T_1$): 1 – покровных, 2 – субвулканических образований, 3 – сиенит-лейкогранитовая ($P_{2,3}; T_1$) терригенная нижняя моласса (P_1) габбро-гранодиорит-гранитовая (C_{2-3}) известняково-глинисто-песчаниковая с вулканитами ($S-C_1$)</p>
КАЛЕДОНСКИЙ	 <p>диорит-гранодиорит-гранитовая, редкометалльных пегматитов, околопегматитовых флюорит-слюдистых метасоматитов нерасчлененные (O)</p>
БАЙКАЛЬСКИЙ	 <p>1 – терригенная (RF_2, RF_3, V, C), карбонатно-терригенная (RF_3, V, C), дацит-риолитовая (RF_3), кремнисто-глинисто-карбонатная углеродсодержащая ($V-C, C$), нерасчлененные, 2 – кимберлитовых брекчий (RF)</p>
ПОЗДНЕАРХЕЙСКИЙ И РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИЙ НЕРАСЧЛЕНЕННЫЕ	<p>МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ ВЫСТУПОВ ГРАНИТИЗИРОВАННОГО ФУНДАМЕНТА</p>  <p>1 – гнейсовая, мигматит-плаггиогранитная (AR_1) и сланцевая (PR), нерасчлененные, 2 – метаморфизованных габбро и перидотитов</p>

Разрывные нарушения



породы зоны выветривания имеют каолиновый или гидрослюдисто-каолиновый заполнитель. Ее мощность превышает 7 м. В нижних слоях цагайской свиты присутствует переотложенный каолинит. Приведенные факты свидетельствуют о домастрихтском (сеноман-кампанском) гипергенезе. Позднемеловые коры распространены также севернее площади исследований.

Линейные коры выветривания развиваются вдоль разрывных нарушений, накладываясь на площадные коры. Возникающие вторичные минералы: гидрослюды, каолинит, монтмориллонит, гидроокислы железа и марганца, гидрохлорит — совпадают с минералами площадных кор. Глубина проработки исходных пород возрастает до 120–150 м, ограничиваясь региональным базисом эрозии, существовавшим на период выветривания, а с удалением от осей разломов она быстро убывает. На водоразделе рек Буряя и Тюкан известны линейные коры с глубиной проработки 406 м.

Анализ фациального состава и литологических особенностей осадочного чехла Амуру-Зейской впадины свидетельствует о том, что его формирование происходило в континентальных условиях на озерно-аллювиальной равнине, осложненной палеогидросетью унаследованного развития с раннемелового времени вплоть до плейстоцена [6, 7].

Наиболее реальные перспективы поиска уранового оруденения в пределах Амуру-Зейской впадины связаны с базальными палеодолинами, врезанными в радиогеохимически специализированный субстрат [8]. Они формировались за контурами аккумулятивной равнины и были погребены под более молодым осадочным чехлом трансгрессивно расширявшегося седиментационного бассейна, в отличие от аллювиальных каналов, фиксировавших положение палеорек в пределах седиментационного бассейна.

Один из ведущих факторов локализации уранового оруденения гидрогенного типа в палеодолинах Нижне-Бурейской площади — гидрогеологические и радиогидрохимические условия. Отмечаются зоны свободного и затрудненного водообмена.

Зона свободного водообмена мощностью 100 и более метров практически полностью включает отложения позднемиоценово-плиоценовой галечно-гравийно-песчаной пестроцветной формации (белогорская и сазанковская свиты). Водоносный комплекс формации прорезается и дренируется современной речной сетью, образуя в речных долинах многочисленные высокодебитные родники. Скорость движения подземных вод позднемиоценово-плиоценовых отложений оценивается в 0,01–5,0 м/сутки [2]. По химическому составу воды зоны свободного водообмена гидрокарбонатно-силикатные или силикатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые с минерализацией до 0,1–0,3 г/л и слабокислой реакцией. В водах почти полностью отсутствует сульфат-ион, суммарное количество закисного и окисного железа — 0,9–13 мг/л, присутствует

диоксида кремния (до 30–40 мг/л), около 90 % которой находится в растворенной форме и лишь небольшая часть — в коллоидной.

Состав растворенных газов зоны свободного обмена кислородно-углекисло-азотный, а геохимическая обстановка в водах глеевая с большим содержанием закисного железа, реже окислительная. Содержание урана в водах повсеместно низкое и не превышает 2×10^{-7} г/л. В связи с активной инфильтрацией в зоне свободного водообмена и ее положением в сфере проявления процессов поверхностного окисления сохранение диагенетических или эпигенетических аккумуляций урана среди отложений пестроцветной галечно-гравийно-песчаной формации позднего миоцена — плиоцена маловероятно.

Зона затрудненного водообмена представлена отложениями верхнемеловой глинисто-гравийно-песчаной сероцветной и глинисто-песчаной пестроцветной формаций. Верхнемеловые формации содержат регионально распространенные глинистые флюидопоры мощностью в первые десятки метров, затрудняющие водообмен между водоносными комплексами и горизонтами. Воды зоны затрудненного водообмена пресные напорные, иногда с самоизливом, гидрокарбонатные, натриевые или натриево-кальциевые с минерализацией 0,1–0,3 г/л. Сульфат-ион в них отсутствует. В самых низах разреза минерализация вод возрастает до 0,6 г/л, а их состав меняется на гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый, что связывается с подтоком вод в базальный горизонт чехла из нижележащего рифтогенного СФК и фундамента. Состав растворенных газов азотный с примесью углекислоты и метана, иногда отмечается присутствие сероводорода. Геохимическая обстановка в водах восстановительная, преимущественно глеевая. Содержание урана в водах низкое ($n \times 10^{-7}$ г/л), однако здесь, наряду с низкими содержаниями, выявлены и отдельные гидрогеохимические аномалии ($n \times 10^{-6}$ – $n \times 10^{-5}$ г/л), обязанные, вероятно, существованию аккумуляции урана во вмещающих воды отложениях. Водоносные комплексы зоны затрудненного водообмена получают питание как за счет инфильтрации метеорных вод, так и подтока со стороны обрамления впадины. Воды других водоносных комплексов Нижне-Бурейской площади не оказывают значительного влияния на локализацию урана в палеодолинах. Сохранение уранового оруденения возможно лишь в зоне затрудненного водообмена, где фиксируется восстановительная геохимическая обстановка.

По мнению некоторых исследователей (Е. А. Головин и др., 1983), особенностью рассматриваемого уранового оруденения может являться участие в рудоформирующем процессе эксфильтрационных, предположительно, термальных растворов, обогащенных восстановителями и создающих на пути движения несущих уран инфильтрационных вод контрастный эпигенетический восстановительный барьер. Свидетельства участия эксфильтрационных растворов

в рудообразовании — соответствующие эпигенетические изменения пород и присутствие в парагенезе с урановым оруденением битумов, кальцита, флюорита и сульфидов, что дает основание некоторым исследователям относить это оруденение к эндогенному типу.

Важную, но, по-видимому, опосредованную роль в формировании уранового оруденения на рудоподготовительной стадии играют разрывные нарушения. Выделение разломов проведено как непосредственным картированием, так и при дешифрировании материалов космических съемок.

По данным дешифрирования материалов аэрокосмических съемок, на площади отмечаются тектонические нарушения диагональной и ортогональной тектонопары.

Диагональная тектонопара представлена в равной степени тектоническими нарушениями северо-восточной и северо-западной ориентировок. Тектонические нарушения северо-восточной ориентировки довольно равномерно распределены по территории исследований, представлены швами протяженностью от первых километров до первых десятков километров. Это наиболее древние и долгоживущие крупные разломы, которые контролируются зонами катаклазированных и рассланцованных пород и трассируют крупнейшие массивы позднепалеозойских гранитоидов, подчеркивая генеральное для палеозойских и мезозойских структур площади северо-восточное направление. Заложились они, вероятно, в кембрийскую эпоху. Активизация северо-восточных разломов, возможно, происходила и в кайнозое. Характерная особенность тектонических нарушений северо-восточного направления, как молодых, так и более древних, — слабовыраженный дуговой характер. В южной части территории наблюдается изменение их четко выраженного северо-восточного направления на близкое к субширотному. Более молодыми представляются разломы северо-западного простирания (290° – 345°). Их заложение произошло, по-видимому, в позднем палеозое, а активизация — в конце позднего палеозоя и в триасе, а также в раннемеловое время. Наиболее крупной из них является так называемая Туранская зона сколовых разломов (В. И. Пилипейко, 1975), фрагменты которой закартированы в бассейне р. Домикан. Разломы Туранской зоны обладают простиранием 315° – 330° и падением, близким к вертикальному. Движения по ним имели сбросовый характер, т. к. некоторые из них ограничивают впадины, выполненные вулканитами солонечной свиты. Амплитуда вертикальных перемещений по разломам, судя по изменению мощности вулканических пород в разных тектонических блоках, составляет первые десятки метров. Эти разломы распознаются по наличию выходов дробленных, лимонитизированных и окварцованных пород шириной до 25 м. Туранская зона разломов контролирует положение вулканических аппаратов раннемелового времени. Рассматриваемые

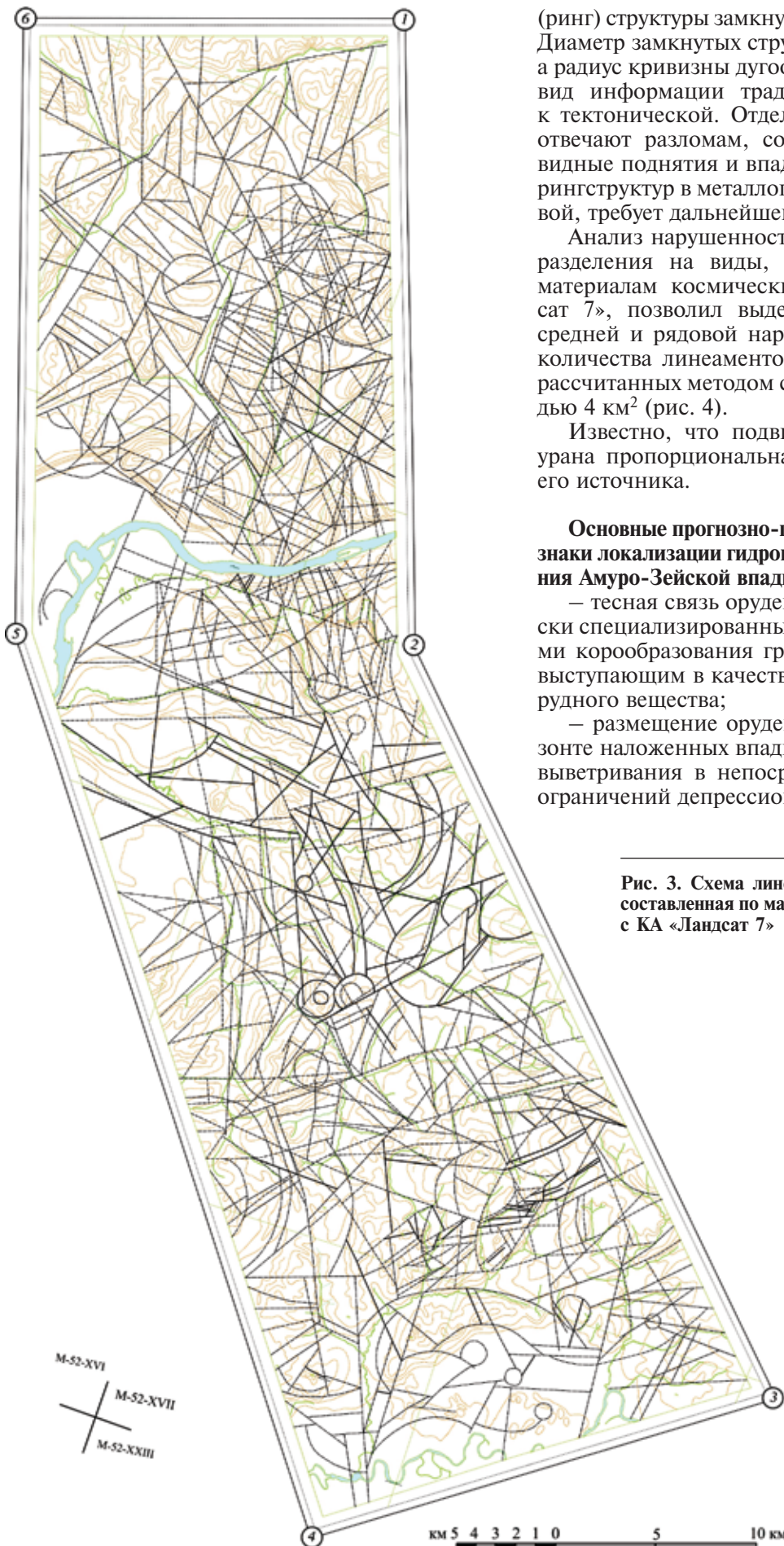
системы разломов хорошо дешифрируются на материалах аэрокосмических съемок и выделяются по геофизическим данным (рис. 3).

Ортогональная тектонопара представлена тектоническими нарушениями широтной и меридиональной ориентировок, отчетливо дешифрирующихся на материалах космических съемок с КА «Ландсат 7». В количественном отношении меридиональные разломы наиболее проявлены в северной, а широтные — в южной частях площади на правобережье р. Бурей. Разломы субширотного направления близки по времени к северо-восточным. Несомненно, перед внедрением позднепалеозойских гранитов они существовали, так как формирование большинства интрузивов происходило по двум системам разломов: широтной и северо-восточной. К местам пересечения субширотных и северо-восточных разломов тяготеют участки с максимально проявленной рудной минерализацией. Субширотные разломы неоднократно испытывали активизацию. Зоны широтных разломов пересекают как интрузивные, так и осадочные породы, протягиваясь на десятки километров. В гранитоидах эти разломы часто сопровождаются окварцованными тектоническими брекчиями, а в осадочных породах они выявляются по соприкосновению гранитоидов с верхними горизонтами цагайской свиты. При проходке канав установлено, что эти разломы — крутопадающие (60° – 70°) на юг и юго-восток сбросы. После активизации в кайнозое их амплитуда не превышает первых сотен метров. Разломы субмеридионального простирания являются, по-видимому, самыми молодыми.

Их протяженность не превышает первые десятки километров. Они отчетливо выражены в рельефе, сопровождаются окварцованными, гематитизированными тектоническими брекчиями.

Описываемые системы разломов (особенно, диагональной тектонопары) относятся к рудоконтролирующим структурным элементам. К ним тяготеет большинство проявлений урана, аномальных литогеохимических ореолов, часто сопровождающихся окварцеванием, сульфидизацией и др. и представляющих практический интерес, локализуясь в узлах пересечения разломов различных направлений. Большинство разломов всех направлений относится к сбросам лишь среди субмеридиональных нарушений, иногда устанавливаются надвиги, по которым движение масс происходило с востока на запад. Сбросами всевозможных направлений территория исследований была расколота на тектонические разнообразные блоки, которые испытывали перемещения различных знаков. Вертикальные движения продолжаются и в четвертичное время. Об этом свидетельствует наличие на площади комплекса речных террас, участков омоложенного рельефа, речных перехватов.

В качестве нетрадиционной геологической информации на Нижне-Бурейской площади на основе дешифрирования материалов космических съемок с КА «Ландсат 7» установлены кольцевые



(ринг) структуры замкнутой и дугообразной форм. Диаметр замкнутых структур не превышает 2 км, а радиус кривизны дугообразных – 6 км. Данный вид информации традиционно отнесен нами к тектонической. Отдельные дуговые элементы отвечают разломам, сопровождающим куполовидные поднятия и впадины. Роль описываемых рингструктур в металлогении, в частности урановой, требует дальнейшего изучения.

Анализ нарушенности сплошности пород без разделения на виды, отдешифрованной по материалам космических съемок с КА «Ландсат 7», позволил выделить блоки с высокой, средней и рядовой нарушенностями, исходя из количества линеаментов и кольцевых структур, рассчитанных методом скользящего окна площадью 4 км² (рис. 4).

Известно, что подвижность (извлекаемость) урана пропорциональна степени нарушенности его источника.

Основные прогнозно-поисковые критерии и признаки локализации гидрогенного уранового оруденения Амуро-Зейской впадины (рис. 5):

- тесная связь оруденения с радиогеохимически специализированным, затронутым процессами корообразования гранитоидным субстратом, выступающим в качестве возможного источника рудного вещества;
- размещение оруденения в базальном горизонте наложенных впадин и нижележащих корях выветривания в непосредственной близости от ограничений депрессионных структур;

Рис. 3. Схема линейных и кольцевых структур, составленная по материалам космических съемок с КА «Ландсат 7»



- контроль оруденения желобообразными понижениями в рельефе фундамента, имеющими эрозионно-тектоническое происхождение и определяющими направленное движение инфильтрационных вод;
- отсутствие четкого литолого-фациального контроля оруденения, его многоярусность;
- повышенные по сравнению с кларком содержания урана в базальном горизонте впадин;
- участие в рудоформирующем процессе эксфильтрационных, предположительно, термальных растворов, обогащенных восстановителями и создающих на своем пути движения несущих уран инфильтрационных вод контрастный эпигенетический восстановительный барьер;
- крутопадающие разломы, определяющие положение долин крупных водотоков в мезозойском плутоногенном и вулканогенном основании и, возможно, являющиеся основными путями выноса радиоактивных элементов из материнских пород на поверхность;
- гранитоиды алтагинского комплекса, затронутые процессами гидротермально-метасоматических изменений, особенно грейзенизацией (по данным гамма-спектрометрии, среднее содержание урана $3,5 \times 10^{-4}\%$), возможно, являющиеся источником свободного урана;
- потоки грунтовых и поверхностных вод, определяющие направление движения свободного урана;
- краевые части гранитных массивов, где широко развиты разрывные нарушения в зонах экзо- и эндоконтактов с вмещающими породами;

Рис. 4. Схема нарушенности сплошности пород основания и чехла, составленная на основе дешифрирования материалов космических съемок с КА «Ландсат 7»

1 – рядовая; 2 – средняя; 3 – интенсивная

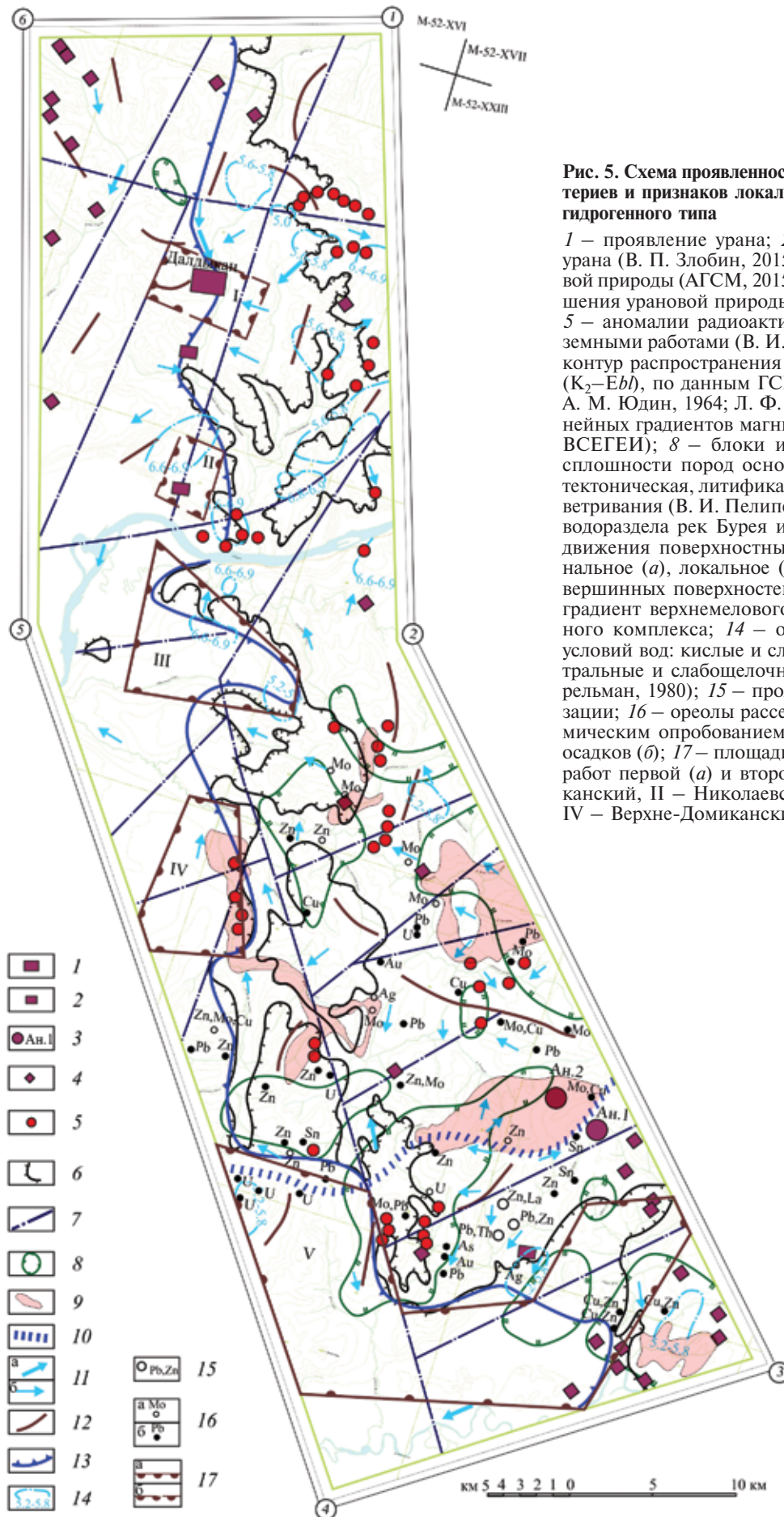


Рис. 5. Схема проявленности прогнозно-поисковых критериев и признаков локализации уранового оруденения гидrogenного типа

1 – проявление урана; 2 – пункты минерализации урана (В. П. Злобин, 2015); 3 – аэроаномалии урановой природы (АГСМ, 2015 г., ВСЕГЕИ); 4 – аэроповышения урановой природы (АГСМ, 2015 г., ВСЕГЕИ); 5 – аномалии радиоактивности, установленные наземными работами (В. И. Пилипейко и др., 1978); 6 – контур распространения платформенных отложений (K_2-Ebb), по данным ГСР-200 (Н. К. Осипова, 1970; А. М. Юдин, 1964; Л. Ф. Васькин, 1981); 7 – оси линейных градиентов магнитного поля (АГСМ, 2015 г., ВСЕГЕИ); 8 – блоки интенсивной нарушенности сплошности пород основания и чехла (экзогенная, тектоническая, литификационная и др.); 9 – коры выветривания (В. И. Пелипейко и др., 1978); 10 – линия водораздела рек Буряя и Архара; 11 – направление движения поверхностных и подземных вод: региональное (а), локальное (б); 12 – осевые части (оси) вершинных поверхностей; 13 – гидродинамический градиент верхнемелового (маастрихтский) водоносного комплекса; 14 – ореолы щелочно-кислотных условий вод: кислые и слабокислые (рН 3–6,5); нейтральные и слабощелочные (рН 6,5–8,5) (А. И. Перельман, 1980); 15 – проявления рядовой минерализации; 16 – ореолы рассеяния, выявленные гидрохимическим опробованием (а), опробованием донных осадков (б); 17 – площади для постановки поисковых работ первой (а) и второй (б) очередей (I – Далдыканский, II – Николаевский, III – Усть-Деканский, IV – Верхне-Домиканский, V – Архаринский)

– участки с активной гидродинамикой подземных и поверхностных вод;

– эрозионно-тектонические уступы в пределах склоновых и водораздельных частей долин как косвенный признак тектонической нарушенности специализированных на уран пород;

– блоки интенсивной нарушенности сплошности пород основания и чехла (экзогенная, тектоническая, литификационная);

– ореолы повышенной радиоактивности, по данным шпуровой гамма-съемки и пешеходной гамма-спектрометрии, результатам АГСМ-25, наземной заверки аэроаномалий и литогеохимического и гидрогеохимического опробований;

– рудопоявления, проявления и пункты минерализации урана эндогенного и экзогенного типов, выявленные в результате поисковых работ разного масштаба.

Условие сохранности уранового оруденения в палеодолинах – консервация последних под чехлом более молодых отложений, препятствующая разрушению оруденения последующими эрозионно-денудационными процессами.

В результате проведенных исследований выделено пять участков общей площадью 188 км² для постановки поисковых работ на водородный тип уранового оруденения, в том числе первой – 161 км² (3 участка) и второй 27 км² (2 участка) очередей (рис. 5).

Участок Николаевский (II) площадью 12 км² расположен на правом берегу р. Буря в районе с. Николаевка. С поверхности сложен в основном терригенными отложениями сазанковской свиты. Отложения белогорской свиты сохранились только на вершинных поверхностях. Предполагаемый гидродинамический градиент, гидрохимическая аномалия с рН 6,6–6,9, площадные аномалии радиоактивности интенсивностью более 14 мкР/ч, выявленные в результате геологических маршрутов, а также пункт минерализации урана послужили причиной выделения участка как перспективного. В качестве рудовмещающей толщи рассматриваются отложения цагайской свиты. Предполагается вторая очередь постановки в его пределах поисковых работ по причине неоднозначности полноты проявленности металлотектов водородного уранового оруденения.

Участок Усть-Деканский (III) площадью 39 км² расположен на левом берегу р. Буря, в приустьевой части р. Декан. Перспективность участка на выявление водородного уранового оруденения обусловлена наличием полного разреза рудовмещающей цагайской свиты; заливообразной формы распространения гидродинамического градиента маастрихтского водоносного горизонта; сложно построенного палеорусл; специализированного на уран катаклазированного основания палеорусл, сложенного гранитоидами третьей фазы тырмо-буреинского плутоногенного комплекса и риолитами солонечной свиты, включающими многочисленные аномалии радиоактивности урановой природы; интенсивной

дезинтеграции (трещиноватости) чехла основания. Площадь отнесена к первой очереди постановки поисковых работ.

Участок Верхне-Домиканский (IV) площадью 42 км² расположен в междуречье Солёный Ключ и Кривой Домикан. Его перспективность обусловлена проявленностью металлотектов локализации водородного уранового оруденения, включая наличие полного разреза потенциально рудовмещающих отложений цагайской и сазанковской свит; палеорусл, выполненного отложениями одной из свит; сложно построенного гидродинамического градиента маастрихтского водоносного горизонта; специализированного на уран основания, сложенного трещиноватыми тектонически нарушенными гранитоидами тырмо-буреинского плутоногенного комплекса; коры выветривания по палеозойским интрузивным образованиям и т. д. Анализ полноты проявленности металлотектов локализации водородного уранового оруденения позволил предположить оруденение на двух уровнях. Первый от поверхности – сазанковский – в восточной части участка, и второй – цагайский – в западной. Полнота проявленности прогнозно-геологических критериев дала возможность предположить первую очередь постановки поисковых работ.

Участок Архаринский (V) площадью 80 км² расположен на правом берегу р. Архара и включает бассейны ее притоков: р. Гнилуша, Средняя Илга и Верхняя Илга. В пределах участка разрез рудовмещающих и потенциально рудовмещающих отложений сазанковский и цагайской свит представлен в полном объеме. Основанием Архаринской впадины в целом и участков в частности являются породы тырмо-буреинского плутоногенного комплекса (С_{2-3t}), включающие пластинчатые ксенолиты метаморфических пород мельгинской свиты венда (Vml). Характерная особенность пород основания – установленные наземными и аэrorадиометрическими работами многочисленные аномалии радиоактивности преимущественно урановой природы, наличие блоков, затронутых гидротермально-метасоматической переработкой, в том числе грейзенизацией и интенсивной тектонической нарушенностью, широкое развитие кор выветривания. В качестве металлотекта первого рода предполагаются гидродинамический градиент верхнемелового (маастрихтского) водоносного горизонта и ряд гидродинамических аномалий с рН ≥ 5,8. Площадь отнесена к первой очереди постановки поисковых работ.

Участок Далдыканский (I) площадью 15 км² расположен в среднем течении р. Первый Далдыкан и включает правый и левый его борты. Основной урановорудный объект – проявление Далдыканское, приуроченное к базальному горизонту цагайской свиты. Участок сложен терригенно-осадочными отложениями плиоцен-эоплейстоцена (белогорская свита), представленными песками, гравийниками, супесями, глинами и т. д., рассматривающимися рядом авторов в качестве

аллювия древних рек, перекрывающих отложения сазанковской свиты (N_1^3sz), сложенной песками, глинами с дресвой, в нижней части галечники кварцевые с песчаным заполнителем. Кислые вулканы солонечной свиты (K_1sl) — подстилающие для цагайской свиты на участке. Расширение перспектив Далдыканского проявления нами связывается с возможным мульдообразным понижением, выполненным терригенными отложениями нижней подсвиты цагайской свиты или нижней толщи сазанковской свиты, расположенной на правом борту р. Первый Далдыкан. Площадь отнесена ко второй очереди постановки поисковых работ.

Таким образом, проведенные исследования могут служить основой для постановки поисково-оценочных работ на гидрогенный тип уранового оруденения в восточной части Амуро-Зейской впадины, что в целом подтверждено результатами опережающих прогнозно-оценочных работ ФГУПП «Урангео» (Информационный отчет ФГУПП «Урангео» по Договору №115/2015).

1. Варнавский В. Г., Седых А. К. Палеоген и неоген Приамурья и Приморья. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1988. — 184 с.

2. Гидрогеология СССР. Т. 23: Хабаровский край и Амурская область / ред. В. А. Маринов. — М.: Недра, 1971. — 514 с.

3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Дальневосточная серия. Лист М-52 — Благовещенск / Н. Н. Петрук, Ю. Р. Волкова. — СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012.

4. Государственная геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Хингано-Буреинская. Лист М-52-XXIII (Архара) / ред. Л. Б. Кривицкий. — М., 1975.

5. Карта кор выветривания Амурской области масштаба 1 : 500 000 и объяснительная записка к ней: [Комплект] / Н. И. Орлова, Е. Ю. Нечипасенко и др. — М.: ВИМС, 1995.

6. Сорокин А. П., Худяков Г. И. Особенности мезозойского и кайнозойского осадконакопления в Амуро-Зейской впадине // Геоморфоструктура Дальнего Востока. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. — С. 12—34.

7. Сорокин А. П., Малышев Ю. Ф. Основные черты эволюции и глубинного строения Зейско-Буреинского и Сунляо осадочных бассейнов // Тихоокеанская геология. — 2013. Т. 32, № 2. — С. 3—19.

8. Шатков Г. А., Терентьев В. М., Пинский Э. М., Шор Г. М. Металлогеническое районирование Амурского геоблока (сопредельные территории России, Китая, МНР) в связи с задачами прогнозирования промышленных типов уранового оруденения на Востоке России // Региональная геология и металлогения. — 1999. — № 8. — С. 35—46.

1. Varnavskiy V. G., Sedykh A. K. Paleogen i neogen Priamur'ya i Primor'ya [Paleogenes and Neogene Amur and Primorye]. Vladivostok: DVNTs AN SSSR. 1988. 184 p.

2. Gidrogeologiya SSSR. T. 23: Khabarovskiy kray i Amurskaya oblast' [Hydrogeology of the USSR. Vol. 23: Khabarovsk Territory and Amur Region]. Ed. by V. A. Marinov. Moscow: Nedra. 1971. 514 p.

3. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii mashtaba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Dal'nevostochnaya seriya. List M-52 — Blagoveshchensk [The state geological map of the Russian Federation on a scale of 1:1,000,000 (third generation). Far Eastern series. Sheet M-52 — Blagoveshchensk]. Ed. by N. N. Petruk, Yu. R. Volkova. St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI. 2012.

4. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR mashtaba 1 : 200 000. Seriya Khingano-Bureinskaya. List M-52-XXXIII (Arkhar) [State geological map of the USSR on a scale of 1:200,000. Series Khingano-Bureinskaya. Sheet M-52-XXXIII (Arkhar)]. Ed. by L. B. Krivitskiy. Moscow. 1975.

5. Karta kor vyvetrivaniya Amurskoy oblasti mashtaba 1 : 500 000 i ob'yasnitel'naya zapiska k ney [A map of the weathering crust of the Amur Region on a scale of 1:500,000 and an explanatory note to it]. Ed. by N. I. Orlova, E. Yu. Netchipasenko i dr. Moscow: VIMS. 1995.

6. Sorokin A. P., Khudyakov G. I. Features of the Mesozoic and Cenozoic sedimentation in the Amur-Zeya depression. *Geomorphostructure of the Far East*. Vladivostok: DVNC AN SSSR. 1978. Pp. 12—34. (In Russian).

7. Sorokin A. P., Malyshev Yu. F. The main features of the evolution and deep structure of the Zeya-Bureinsky and Sunlyao sedimentary basins. *Tikhookeanskaya geologiya*. 2013. Vol. 32. No. 2, pp. 3—19. (In Russian).

8. Shatkov G. A., Terent'ev V. M., Pinskiy E. M., Shor G. M. Metallogenic zoning of the Amur geoblock (adjacent territories of Russia, China, Mongolia) in connection with the forecasting of industrial types of uranium mineralization in the East of Russia. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*. 1999. No. 8, pp. 35—46. (In Russian).

Pugovkin *Aleksey Alekseevich* — канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <Aleksey_Pugovkin@vsegei.ru>
Lebedeva *Galina Borisovna* — геолог, ВСЕГЕИ¹. <Galina_lebedeva@vsegei.ru>

Pugovkin *Aleksey Alekseevich* — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI¹. <Aleksey_Pugovkin@vsegei.ru>

Lebedeva *Galina Borisovna* — Geologist, VSEGEI¹. <Galina_lebedeva@vsegei.ru>

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.