

Возможности обнаружения месторождений полезных ископаемых на территории Архангельской области (по геолого-геофизическим данным)

Рассмотрена потенциальность выявления новых коренных источников алмазов девон-раннекаменноугольного и вендского возрастов, медно-никелевых месторождений и нетрадиционных источников углеводородов на площади Архангельской области.

Ключевые слова: Архангельская область, Архангельская алмазоносная провинция, медно-никелевые месторождения, нетрадиционные источники углеводородов, геолого-геофизические материалы.

Y. G. KUTINOV, Z. B. CHISTOVA (FCIARctic)

The possibility of discovering new mineral deposits in the Arkhangelsk Region

Possibilities for the discovery of new Devonian-Early Carboniferous and Ediacaran primary diamond deposits, copper-nickel deposits and unconventional sources of hydrocarbon in the Arkhangelsk Region are discussed.

Keywords: Arkhangelsk Region, Arkhangelsk diamond province, copper-nickel deposits, unconventional sources of hydrocarbon, geological and geophysical data.

Для цитирования: Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Возможности обнаружения месторождений полезных ископаемых на территории Архангельской области (по геолого-геофизическим данным) // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 83. – С. 68–75.

Введение. Анализ наличия выявленных минеральных ресурсов севера Русской плиты: Мурманской и Архангельской областей, республик Карелия и Коми – показал, что наиболее слабо обеспечена полезными ископаемыми территория Архангельской области. В то же время этот регион по своему геологическому строению является продолжением Балтийского щита, и вполне естественно предположить, что на его территории возможно наличие сходных месторождений полезных ископаемых.

В целом регион изучен достаточно слабо в основном среднемасштабными геолого-геофизическими работами [10]. Результатом полного покрытия гравимагнитными съемками м-ба 1 : 200 000 в 1960-е годы явились карты гравиметрических работ м-ба 1 : 200 000 в редукции Буге (плотностью промежуточного слоя 2,3 г/см³) с сечением $2 \cdot 10^{-5}$ м/с²; сводная гравиметрическая карта м-ба 1 : 500 000 с сечением изоаномал $2 \cdot 10^{-5}$ м/с²; карта аномального магнитного поля м-ба 1 : 200 000 с сечением изодинам 1 мЭ.

В результате математической обработки из всего вышеперечисленного картографического материала получен пакет трансформант потенциальных полей с различными радиусами осреднения и созданы среднемасштабные карты строения кристаллического фундамента.

Открытие в 1980-х годах проявлений кимберлитового магматизма на севере Русской плиты повлекло за собой возрастание объемов и детальности геолого-геофизических работ. Естественно,

что наиболее изучена площадь Архангельской алмазоносной провинции (ААП), в первую очередь территория Беломорско-Кулойского плато (Зимнебережный кимберлитовый район). Степень изученности района крупномасштабными геофизическими исследованиями во многом определялась их поисковой направленностью. Поскольку наибольшим регистрируемым эффектом для обнаружения трубок взрыва в данном регионе обладают магнито- и электроразведочные методы, то и изученность его этими методами наиболее детально [8].

На всей площади работ разные исследователи со своей аппаратурой проводили высокоточные аэромагнитные съемки м-бов 1 : 10 000–1 : 25 000 (частично 1 : 50 000), по результатам которых были построены карты аномальной и локальной составляющих магнитного поля м-ба 1 : 25 000. Сечение изодинам на картах аномальной составляющей 5–10 нТ, локальной – 1 нТ. В 1985–1987 гг. Ленинградской геофизической экспедицией Северо-Западного производственно-геологического объединения был составлен комплект карт и их трансформаций м-бов 1 : 25 000–1 : 100 000 на часть площади исследований. Сводная карта магнитного поля по материалам крупномасштабных высокоточных съемок на всю территорию региона пока отсутствует.

Частично (в основном Беломорско-Кулойское плато) территория покрыта аэроэлектроразведочными работами методом дипольно-индуктивного

профилирования м-ба 1 : 25 000, проведенными в двух- и трехчастотном варианте, направление полетов — субширотное. По материалам съемок построены карты продольной проводимости и их трансформанты м-ба 1 : 50 000, карты эффективной глубины проводящего слоя не создавались. Глубинность метода составляет 50–150 м в зависимости от геологического строения территории (структуры поверхности скин-слоя). Обобщенные карты также отсутствуют.

С конца прошлого века неоднократно проводились работы с целью обнаружения традиционных типов месторождений нефти на территории Мезенской синеклизы [1]. Несмотря на полученные положительные результаты, ни одна из пробуренных скважин пока не дала промышленных притоков нефти.

В нашем исследовании были рассмотрены возможности: пропуска кимберлитовых трубок девон-раннекаменноугольного возраста применявшимися поисковыми методами; обнаружения трубок другого возраста (вендского); предпосылок для выделения месторождений, характерных для Балтийского щита; наличия месторождений углеводородов (УВ) нетрадиционного типа.

Возможность пропуска кимберлитовых трубок девон-раннекаменноугольного возраста. Возможность пропуска таких тел применявшимся комплексом геолого-геофизических исследований, их количество и параметры перспективных аномалий детально изучены в [8].

Ранее этот вопрос рассматривался нами по трем взаимосвязанным параметрам: размерам и геометрии тел, глубине залегания аномалообразующих объектов, интенсивности и форме магнитных аномалий и аномалий электропроводности.

Вероятность обнаружения цели при исследовании вдоль множества профилей была определена из геометрических соображений. Были рассчитаны дополнительные вероятности (P) пересечений случайно расположенной цели один или большее число раз множеством профилей, вложенных в прямоугольную сеть [8]. Параметры цели были взяты из работы [3], масштаб аэромагнитной съемки принят 1 : 10 000. Полученное значение вероятности обнаружения средней по размерам трубки взрыва составило только 0,11. Этот вывод подтверждается также результатами поисковых работ. Установлено, что даже при аэромагнитной съемке м-ба 1 : 5 000 с воздуха отражается около 60 % наземных аномалий [8]. Как правило, последние имеют интенсивность по локальной составляющей не менее 3 нТ с преобладанием размеров менее 100 × 100 м. Таким образом, реален пропуск слабоинтенсивных аномалий малых размеров высокоточной магниторазведкой не только м-ба 1 : 10 000, но и 1 : 5 000. При отбраковке аномалий учитывался также коэффициент анизотропности, не превышающий, как правило, 1 : 3, таким образом, обнаружение кимберлитовых даек как поисковых объектов заранее не предусматривалось.

Обычно заверялись аномалии с глубиной верхней кромки намагниченного объекта, соответствующей кровле залегания вендских отложений, т. е. трубки другого возраста не искались.

В регионе был принят комплекс геофизических методов, ориентированный на поиски кимберлитовых тел по двум наиболее устойчивым признакам их отличия от вмещающих пород — повышением намагниченности и электрической проводимости. Таким образом, выборка тел из существующей совокупности по своим индикационным параметрам не являлась строго случайной, а была избирательна по применяемым поисковым методам. Исследования петрофизических моделей показали, что повышенной намагниченностью характеризуется верхняя кратерная часть тела (рис. 1, А), т. е. эрозии в первую очередь подвергается сильномагнитная часть интрузивного комплекса, что не только уменьшает интенсивность аномалий, но и размеры тел. Величина эрозийного среза увеличивается в направлении на северо-запад и может изменяться от 100 м в областях выхода падунской свиты венда и до 250–300 м и более в районах развития осадочных отложений усть-пинежской свиты (рис. 1).

Таким образом, сильноэродированные трубки взрыва (особенно в пределах поля развития вендских отложений) не будут отличаться заметной магнитной аномалией [8], но меньшие площадные размеры станут их характеристикой. В зависимости от конкретных петромагнитных разрезов трубки взрыва могут отличаться в районе развития вендских отложений и выделяться в виде отрицательных локальных аномалий интенсивностью до 10 нТ, связанных с преобладающей суммарной намагниченностью золотичских слоев венда. Особенности геологических разрезов вмещающих пород (преобладание проводящих глинистых отложений венда на западе и резкое увеличение мощности перекрывающих отложений на востоке провинции) не позволяют локализовать подобные кимберлитовые тела электроразведочными методами.

В районах развития низкоомных отложений усть-пинежской свиты венда трубки взрыва могут выделяться аномалиями пониженной проводимости или вообще не фиксироваться. Геоэлектрическая модель трубки взрыва показана на рис. 1, Б.

На основе более 400 химических анализов автолитовой брекчии установлено, что она характеризуется высокими содержаниями Mg, Ni, Cr и низкими — Ti, Al, Ca, щелочей, общего железа и Mn [4]. Таким образом, алмазоносным кимберлитам соответствуют магнезиально-глиноземистые разности пород, а железо-титанистой серии пород — слабо- и убогоалмазоносные кимберлиты (рис. 2, А).

В целом от алмазоносных кимберлитов Золотичского поля к базальтоидным телам интенсивность магнитных аномалий возрастает. Рассчитанный аномальный эффект от автолитовой трубки взрыва составляет максимум 6 нТ на земле, на высоте 100 м аномалия практически не

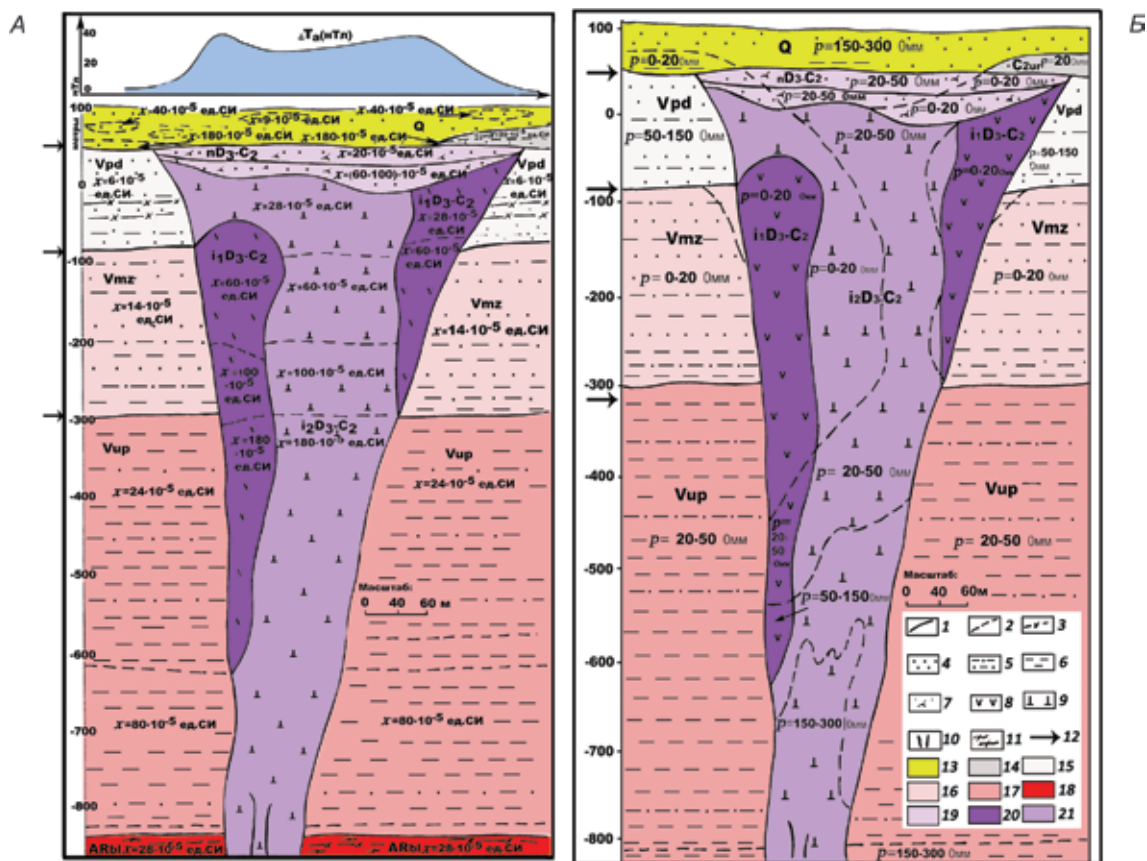


Рис. 1. Петрофизические модели трубок взрыва [8]

А – петромагнитная модель; Б – геоэлектрическая модель.

1, 2 – границы геологические (1), петрофизические (2); 3 – отдельные прослои с $\chi = (80-320) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ; 4 – пески, песчаники; 5 – алевролиты; 6 – аргиллиты; 7 – туфопесчаники, туффиты; 8 – ксенотуфобрекчии; 9 – автолитовые брекчии; 10 – дайки порфировых кимберлитов; 11 – гранитогнейсы; 12 – уровень эрозионного среза; 13 – четвертичные отложения (Q); 14 – урзугская свита карбона (C_{2ur}); 15 – падунская свита венда (Vpd); 16 – мезенская свита (Vmz); 17 – усть-пинейская свита (Vup); 18 – беломорский комплекс архея (ARbl); 19 – туфогенно-осадочные толщи трубок взрыва (nD₃-C₂); 20 – ксенотуфобрекчии (i₁D₃-C₂); 21 – автолитовая брекчия (i₂D₃-C₂)

фиксируется (рис. 2, Б). Таким образом, наличие слабо- или практически немагнитных трубок взрыва в Юго-Восточном Беломорье весьма реально, как и их пропуск. Причем количество пропущенных тел может достигать 20 % от уже обнаруженных [8].

Перспективы Ненокского и Белозерского полей нами более подробно рассмотрены ранее [8] и в данном исследовании не приводятся. Следует только отметить, что перспективы вышеуказанных полей до конца не выяснены.

Возможность обнаружения трубок другого возраста. В настоящее время ААП большинством исследователей рассматривается в качестве лишь одного из районов позднедевонского щелочного магматизма, охватившего как минимум всю северную часть Восточно-Европейской платформы (ВЕП) [2]. В северо-западной части ВЕП на настоящий момент известны алмазонасные кимберлиты трех возрастов: палеопротерозойские кимберлиты в Центральной Карелии; мезопротерозойские лампроиты и кимберлиты (Костамукша – Кухмо – Лентиира), кимберлиты

в Восточной Финляндии; девонские кимберлиты Терского берега Кольского полуострова и девон-раннекаменноугольные Зимнебережного района ААП [9]. Если предположить, что все эти проявления кимберлитового магматизма входят в ААП, контуры которой пока не приобрели обоснованного очертания, то можно сделать вывод, что для провинции характерен разновозрастный кимберлитовый магматизм.

Ранее по результатам работ гравиметрических м-ба 1 : 50 000 и магниторазведочных м-ба 1 : 25 000 нами [8] был исследован район на севере Онего-Двинского междуречья, включающий Ненокское и Белозерское поля проявлений щелочно-ультраосновного магматизма (рис. 3).

Подробное описание геолого-геофизических характеристик выделенных структур фундамента дано в работе [8].

Наибольший поисковый интерес представляет Восточный район (III) (рис. 3). Ему соответствуют следующие характеристики: повышенные слабодифференцированные значения в поле силы тяжести; чередование положительных и отрицательных аномалий различной формы

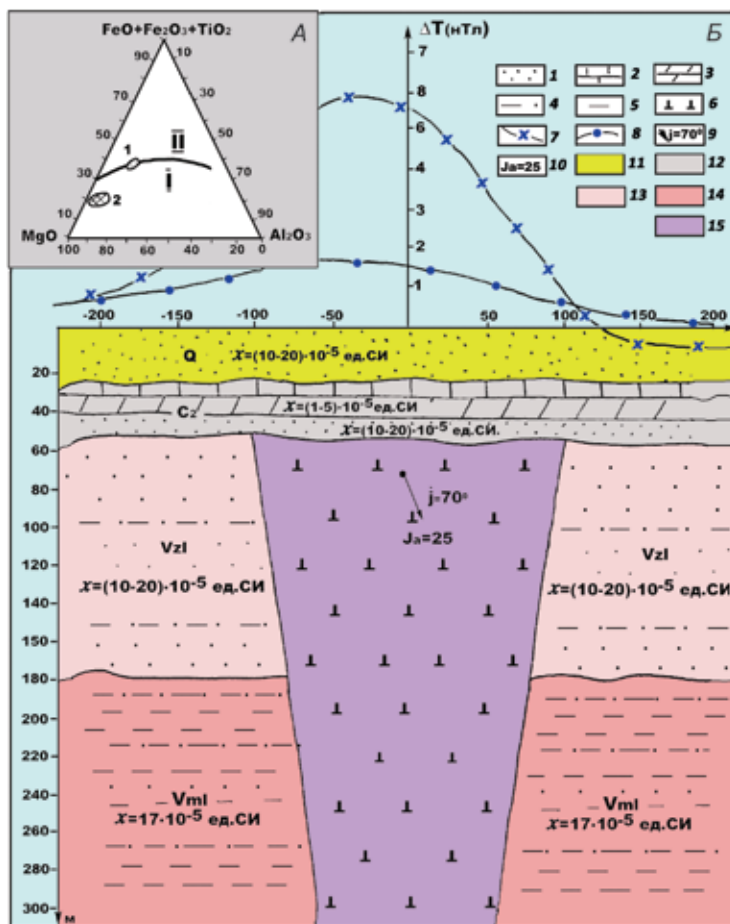


Рис. 2. Сопоставление петрохимических данных (А – врезка) и результатов расчета аномального эффекта от автолитовой трубки взрыва (Б)

А – петрохимическая диаграмма в координатах для автолитовой брекчии и автолитов [4]: I – алмазоносное Золотицкое поле; 2 – убогоалмазоносное Кепинское; I–II – области пород: I – магнезиально-глиноземистых, II – железо-титанистых.

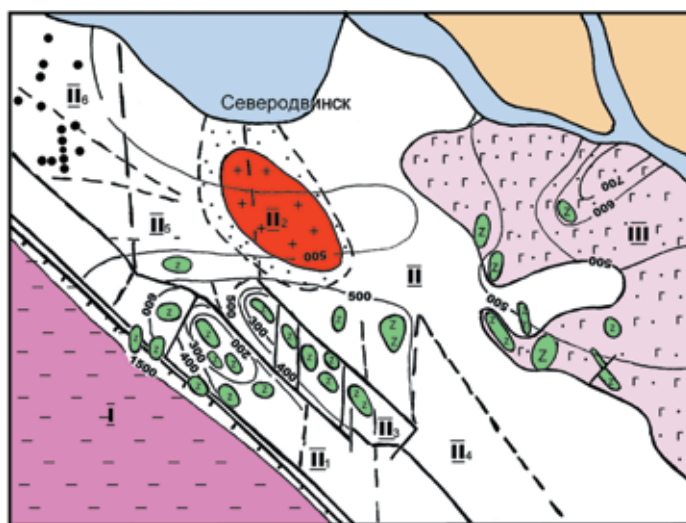
Б – обобщенная петромагнитная модель трубки взрыва Золотицкого поля [8]: 1 – пески, песчаники; 2 – известняки; 3 – доломиты; 4 – алевролиты; 5 – аргиллиты; 6 – автолитовые брекчии; 7 – расчетная кривая ΔT_a (уровень дневной поверхности); 8 – расчетная кривая ΔT_a (уровень 100 м от дневной поверхности); 9 – наклонения вектора суммарной намагниченности; 10 – величина суммарной намагниченности $(J_i + J_n) \cdot 10^{-3}$ А/м; 11 – четвертичные отложения (Q); 12 – отложения среднего карбона (C₂); 13, 14 – терригенные отложения венды: 13 – золотицкие слои (Vz1), 14 – мельские слои (Vml); 15 – палеозойская автолитовая брекчия



Рис. 3. Схема результатов интерпретации потенциальных полей [8]

Структуры фундамента: I – Онежский грабен; II – Солзеньская ступень; II₁ – Синегорский блок; II₂ – Кудемская интрузия; II₃ – Пихкальский блок; II₄ – Белозерский блок; II₅ – Сальский блок; II₆ – Ненокский блок; III – Восточный район.

1 – осадочные отложения ненокской и солзеньской свит рифея; 2 – вулканогенно-осадочный комплекс; 3 – интрузивные породы основного состава; 4 – гранитоиды; 5 – контактовые изменения пород; 6 – борт Онежского грабена; 7, 8 – разломы, в потенциальных полях выраженные хорошо (7) и слабо (8); 9 – изопахиты осадочного чехла; 10 – геологические границы



и интенсивности северо-западного простирания изолиний в магнитном поле (отдельные аномалии имеют другую ориентировку длинных осей). Магнитные аномалии в основном линейной и изометричной форм. Аномалии изометричной формы, выстраиваясь в цепочки, образуют региональные аномалии линейной формы от 0,3 × 0,5 до 5,0 × 8,0 км с максимальной интенсивностью 500–800 нТ. По глубине залегания верхней кромки аномалообразующих объектов выявляется плавное погружение в северо-восточном направлении от 500 до 700 м (направление повышения

мощности вендских отложений). Тектонические нарушения в потенциальных полях на площади Восточного района не наблюдаются. Скорее всего, они представлены малоамплитудными нарушениями, которые не фиксируются в гравиманнитных данных, что обусловлено недостаточным аномальным эффектом. Подобные нарушения выделены на площади Зимнебережного кимберлитового района по данным электроразведочных работ [8].

На глубине 500–700 м выявляется толща пород плотностью $(2,4-2,5) \cdot 10^{-3}$ кг/м³ и магнитной

восприимчивостью $(1500-3500) \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (возможная природа — комплекс вулканогенно-осадочных пород мощностью 200–300 м).

Все выявленные на площади Восточного района 144 локальные магнитные аномалии подразделяются на четыре основных типа, обусловленные, вероятно:

1) массивами основных пород в кристаллическом фундаменте (от 1×3 до 5×8 км, интенсивность 600–900 нТ, глубина залегания верхней кромки 300–700 м);

2) телами в верхнепротерозойско-палеозойском осадочном чехле (размеры от $0,5 \times 0,8$ до 2×3 км, интенсивность до 300 нТ, глубина залегания — 100–300 м). В их числе: а) знакопеременные вытянутой формы (2×3 км, интенсивность до 100 нТ, глубина 200–250 м), вероятно, это эффузивные тела основного состава; б) изометричные (от $0,8 \times 0,9$ до $1,1 \times 1,8$ км, интенсивность 60–140 нТ, глубина залегания 260–350 м). Природа последних интерпретируется неоднозначно — это либо эффузивные тела с мощными подводящими каналами, либо остатки вендских вулканических аппаратов (трубки взрыва вендского возраста), что косвенно подтверждается наличием туфогенных прослоев в разрезе в усть-пинезской свите [13]; в) аномалии с одним или несколькими максимумами (от $0,7 \times 0,8$ до $1,5 \times 2,0$ км, интенсивность до 40 нТ, максимальная глубина залегания — 100–190 м), вероятно, это линзы пород с повышенной магнитной восприимчивостью в верхней части осадочного чехла;

3) трубками взрыва девон-раннекаменноугольными [8];

4) линзами пород с повышенным содержанием магнитных минералов в четвертичных отложениях (аномалии с несколькими максимумами и минимумами интенсивностью от 13 до 40, реже 60–70 нТ; размерами (70×150) – (300×350) м; глубина залегания верхней кромки 3–50 м, нижней — 10–185 м).

Таким образом, реально и возможно без проведения дополнительных магниторазведочных работ по геофизическим материалам обнаружить трубки взрыва вендского возраста.

Предпосылки для выделения месторождений, характерных для Балтийского щита. С востока к Онежскому грабену (рис. 3) примыкает Синегорский блок (II₁) (по данным магниторазведки, расчетные глубины кровли фундамента — 200–400 м) северо-западного простирания, картируемый в поле силы тяжести максимальными значениями (амплитуда $8 \cdot 10^{-5}$ м/с²), в магнитном — полосой повышенных значений ΔT (интенсивность 300–500 нТ), осложненной субизометричными аномалиями от 1 до 2–3 км в поперечнике и интенсивностью 700–900 нТ. С северо-востока структура ограничена нарушениями сбросового типа с амплитудой до 200 м. Характер магнитных аномалий позволяет сделать вывод, что в строении блока участвуют массивы основных пород (магнитная

восприимчивость — $5000 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ, плотность — $(2,9-3,15) \cdot 10^{-5}$ кг/м³) [8]. Пространственная ориентировка свидетельствует об их развитии по кольцевым разломам или о наличии расслоенного массива. Мощный гравитационный и магнитный максимумы обусловлены не только небольшой глубиной залегания интрузива, но и отличным от характерных для фундамента региона беломорид архея литологическим составом. Скважины в этом районе отсутствуют, поэтому однозначно интерпретировать геофизические данные нельзя, но можно предположить по расчетным параметрам, что породы, слагающие блок, относятся к интрузивным образованиям основного состава (дифференцированный массив).

Таким образом, по геофизическим данным, рассмотренный район характеризуется наличием докембрийских интрузивных тел, с которыми могут быть связаны проявления полезных ископаемых: меди и никеля (дифференцированный массив Синегорского блока), протерозойские кимберлитовые тела (второй тип, вторая группа).

Возможность наличия месторождений нефти нетрадиционного типа. Ранее нами были рассмотрены региональные глубинные критерии (строение консолидированной коры и характер поверхности Мохоровичича) [10], структура осадочного чехла и тектоническое строение региона, свидетельства глубинной дегазации и сделан вывод о возможности обнаружения месторождений нефти в рифейских и вендских отложениях [14].

По мнению авторов, в Мезенской синеклизе вполне реально обнаружение нетрадиционного типа месторождений УВ в трещинных коллекторах пород фундамента. На сегодняшний день в мире выявлено достаточное количество месторождений нефти и газа в кристаллических породах фундамента (первично-непористых породах). При этом 66 % гигантских месторождений нефти и газа связаны с рифтогенезом [11], т. е. со сводовыми структурами, где большую роль играют силы растяжения (возможна глубинная дегазация), которым соответствуют выступы легких малоскоростных пород верхней мантии с вероятным скоплением флюидов, в том числе и УВ. С этими выступами связаны региональные отрицательные аномалии силы тяжести. Сходная ситуация характерна и для Мезенской синеклизы [8].

Нами наиболее детально рассматривался борт Онежского грабена, где в районе Архангельска на побережье Двинской губы из источников в пос. Лапоминка и из скважин 19 Архангельская, а также 597 и 599 в районе Северодвинска из четвертичных отложений выделялся газ: CH₄ — 38–97; TUV — 0,1; N + инертные — 0,9–59; Ar — 0,1–0,76; CO₂ + H₂S — 1,5–3,4 % [12].

В результате обработки данных с КА MODIS [7] нами было зафиксировано практически полное отсутствие облачности в летние периоды времени над Белым морем, что указывает на существование восходящих потоков, обусловленных, возможно, глубинной дегазацией Кандалакшского

грабена (рис. 4). Такое строение облачного покрова в течение пяти сезонов наблюдений не может быть случайным или объясняться климатическими особенностями.

По результатам наземных профильных измерений атмосферного давления была выделена отчетливая граница вдоль южного борта Онежского грабена, совпадающая с границей активного на современном этапе Кандалакшского грабена [5] в районе Кандалакшско-Двинской депрессии на западе и Архангельской отрицательной морфоструктуры на востоке (рис. 5).

Граница выделяется наибольшей изрезанностью графиков. Измерения проводились в режиме движения железнодорожного транспорта по маршруту Архангельск – Оленегорск, станцией Digital Remote Pro Weatherstation Apt. 02935 в автоматическом режиме регистрации (датчик 1) и баротермогигрометром из комплекта метеостанции WMR 918H в ручном режиме регистрации замера (датчик 2) по прямому и обратному ходу. Высотные отметки и координатная привязка точек наблюдения выполнялись GPS GARMIN III Plus в режиме 3D Navigation. Наличие современной дегазации, отражающейся в структуре атмосферного давления, подтверждено инструментально.

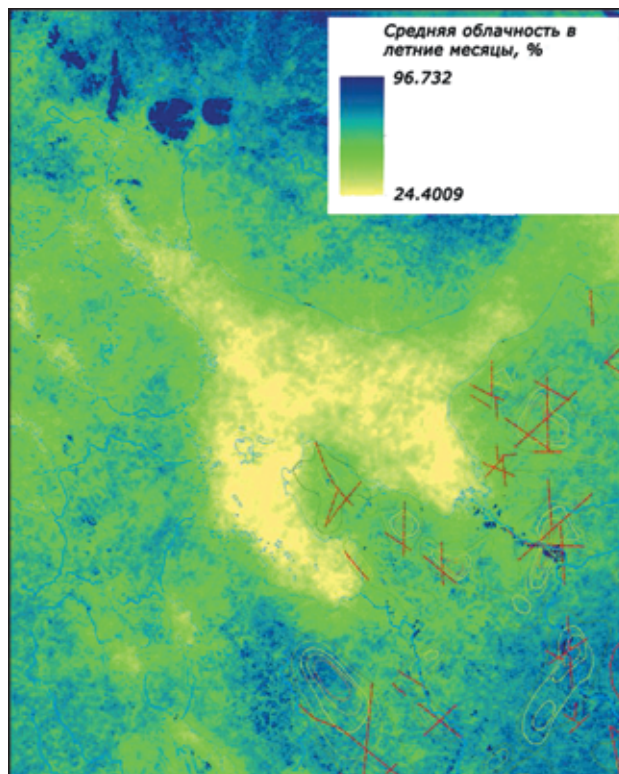
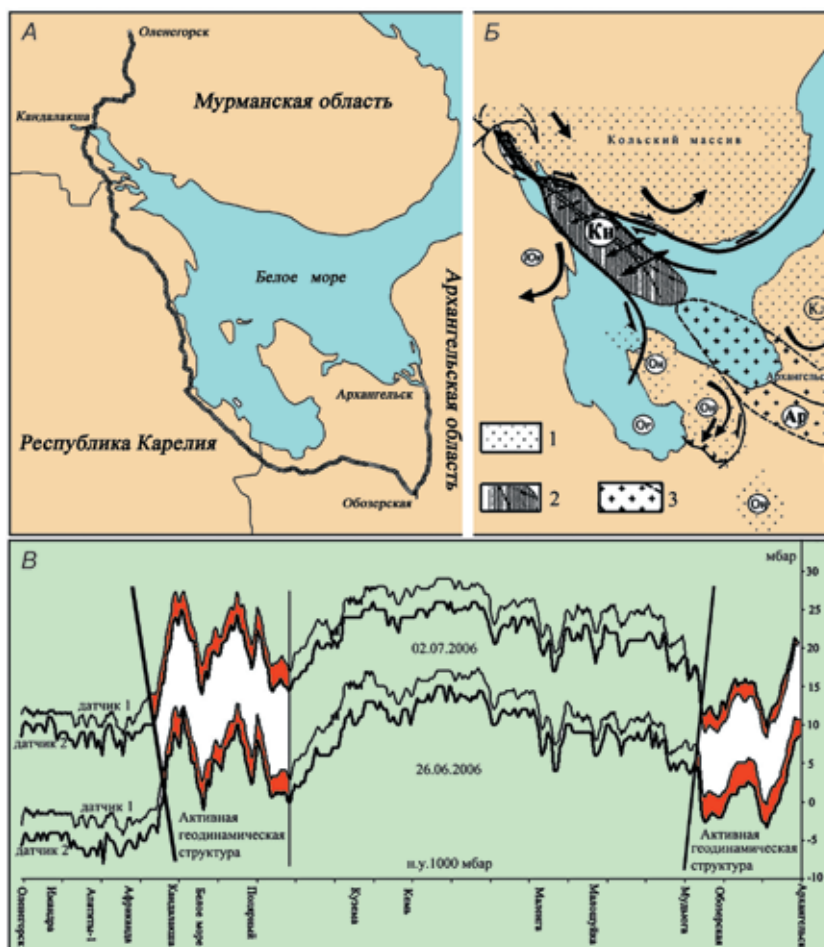


Рис. 4. Средняя облачность в летние месяцы над Белым морем и прилегающими территориями [7]

Рис. 5. Результаты исследований по профилю Архангельск – Оленегорск [6]:

А – положение профиля наблюдений (жирная линия); Б – положение современной активной структуры Кандалакшского грабена с элементами геодинамической интерпретации [5]; В – графики измерения атмосферного давления по маршруту Архангельск – Оленегорск.

1 – области современных поднятий; 2 – области современных прогибов; 3 – Архангельский выступ фундамента (Ар). Буквенные обозначения на схеме: положительные морфоструктуры: КЛ – Кулойская; Он – Онежская; отрицательные морфоструктуры: Кн – Кандалакшская; Ог – Онежской губы; трансформные зоны: Юк – Южно-Кандалакшский опущенный блок. Стрелками показаны предполагаемые направления перемещения блоков



Таким образом, существуют многочисленные косвенные признаки нетрадиционных скоплений углеводородов вдоль борта Онежского грабена.

Выводы. Проведенный нами анализ комплекса геолого-геофизических данных позволил сделать следующие выводы:

– пропуск кимберлитовых тел девон-раннекаменноугольного возраста реален, особенно на площади развития вендских отложений осадочного чехла (до 20 % от уже обнаруженных тел). На первом этапе работы можно ограничиться переинтерпретацией уже имеющихся материалов и выборочной проверкой получаемых выводов;

– также возможно наличие трубок вендского возраста и, как следствие, их пропуск в процессе проведения поисковых работ магнито-аэроэлектроразведочными методами. Поиск подобных тел требует как больших затрат, так и создания новой концепции (нового «образа» объекта), и на его основе повторного анализа геофизических материалов с последующей заверкой разных типов выделяемых аномалий;

– результаты анализа региональных глубинных, среднемасштабных и локальных критериев и возможность обнаружения нетрадиционного типа месторождений УВ позволяют оценить перспективы Мезенской синеклизы на обнаружение нефти и газа как достаточно высокие. В случае трещинных коллекторов методы, нацеленные на изучение горизонтально-слоистой среды, малопримемлемы, но существует возможность выбора способов сейсмического выделения различных вертикальных неоднородностей разреза, например: 3D-сейсмометрия, анализ плотности отражающих площадок и др. Возможно также применение магнитотеллурического зондирования, гравимагнитных методов, аэрокосмических методов (в первую очередь линеаментного анализа с определением морфокинематики тектонических нарушений), а также анализа теплового потока и т. п.;

– рассмотренный район, по геофизическим данным, характеризуется наличием докембрийских интрузивных тел основного – ультраосновного составов, с которыми могут быть связаны проявления полезных ископаемых: меди и никеля (дифференцированный массив Синегорского блока). Требуется дополнительные исследования с применением глубинных методов.

В заключении можно сделать обоснованное утверждение, что прогнозируемые возможности региона реализованы еще не полностью. При этом, как известно, далеко не всегда получаются положительные результаты на ряде площадей, оцениваемых как перспективные. Анализ успешно проведенных прогнозно-поисковых и геологоразведочных работ показывает, что в большинстве случаев результат зависит от научной проработанности поисковой стратегии, комплексности и научного сопровождения проводимых работ. В противном случае простое наращивание объемов и детальности работ (экстенсивный путь

развития) очень скоро сводит их эффективность к нулю, обеспечивая резкий рост затрат.

Исследование осуществлено в ходе выполнения государственного задания ФГБУН ФИЦКИА РАН номер гос. регистрации АААА-А18-118012390305-7, а также при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-05-60024 «Анализ состояния природной среды равнинных территорий Арктической зоны РФ с использованием геоинформационных технологий и цифрового моделирования рельефа».

1. Аплонов С. В., Лебедев Б. А., Тимошенкова Н. В. Новые данные о строении и перспективах нефтегазоносности Мезенского бассейна // Докл. РАН. – 2004. – Т. 396, № 1. – С. 71–76.

2. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия) / под. ред. О. А. Богатикова. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 524 с.

3. Белов А. В. Определение оптимальных параметров в поисковой сети и оценка надежности прямого подсечения единичных кимберлитовых тел на локальных перспективных участках // Геология и полезные ископаемые севера Европейской части СССР. – Архангельск, 1991. – С. 134–150.

4. Веричев Е. М. Геологическое строение и петрологические особенности кимберлитов Архангельской провинции / Е. М. Веричев, В. К. Гаранин, В. П. Гриб, Г. П. Кудрявцева // Изв. вузов. Геол. и разведка. – 1991. – № 4. – С. 88–94.

5. Зыков Д. С., Колодяжный С. Ю., Балуев А. С. Горизонтальные неотектонические перемещения в районе Беломорья // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики: Материалы ХLI Тектон. совещания. Т. 1. – М.: ГЕОС, 2008. – С. 340–344.

6. Кутинов Ю. Г., Боголицын К. Г., Чистова З. Б. Исследования северных территорий Земли из космоса: проблемы, свойства, состояние, возможности на примере МКС «Арктика»: в 3 т. Т. 2. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 272 с.

7. Кутинов Ю. Г. Современная тектоническая активность Кандалакшского грабена по комплексу данных / Ю. Г. Кутинов, З. Б. Чистова, М. Ю. Гофаров, А. Л. Минеев // Вестник САФУ. Серия Естеств. науки. – 2013. – № 4. – С. 21–29.

8. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. – Архангельск: ИПП «Правда Севера», 2004. – 283 с.

9. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Архангельская алмазоносная провинция на мелкомасштабных геологических, тектонических и геофизических картах [Электронный ресурс] // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. – 2016. – Т. 11. – Вып. 1: Система планета Земля. – Режим доступа: http://www.j-spacetime.com/actual%20content/t11v1/2227-9490e-aprovgr_e-ast11-1.2016.12.php (дата обращения: 12.02.2019).

10. Кутинов Ю. Г. Экогеодинамика Арктического сегмента земной коры. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 388 с.

11. Кучерук Е. В., Алиева Е. Р. Рифтогенные бассейны и месторождения // Геология нефти и газа. – 1991. – № 3. – С. 45–46.

12. Перспективы нефтегазоносности кристаллического фундамента на территории Татарстана и Волго-Камского

региона: Труды науч.-практич. конф. – Казань, 1998. – 380 с.

13. Станковский А. Ф. Венд юго-восточного Беломорья / А. Ф. Станковский, Е. М. Веричев, В. П. Гриб, И. П. Добейко // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1981. – № 2. – С. 78–87.

14. Юдахин Ф. Н., Кутинов Ю. Г., Иотов В. И. Критерии и признаки перспективности рифейских отложений Мезенской синеклизы на обнаружение нефтегазоносных отложений // Нефтепромысловое дело. – 2001. – № 4. – С. 15–20.

1. Aplonov S. V., Lebedev B. A., Timoshenkova N. V. New data on the structure and prospects of oil and gas potential of the Mezen basin. *Dokl. RAN*. 2004. Vol. 396. No 1, pp. 71–76. (In Russian).

2. Arhangel'skaya amazonosnaya provinciya (geologiya, petrografiya, geohimiya i mineralogiya) [Arkhangel'sk diamondiferous province (geology, petrography, geochemistry and mineralogy)]. Ed. by O. A. Bogatikova. Moscow: Izd-vo MGU. 1999. 524 p.

3. Belov A. V. Determination of optimal parameters in the search network and reliability assessment of direct cross-section of individual kimberlite bodies in local perspective areas. *Geology and Minerals of the North of the European Part of the USSR*. Arhangel'sk. 1991. Pp. 134–150. (In Russian).

4. Verichev E. M., Garanin V. K., Grib V. P., Kudryavceva G. P. Geological structure and petrological features of kimberlites of the Arkhangel'sk province. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*. 1991. No 4, pp. 88–94. (In Russian).

5. Zykov D. S., Kolodyazhnyy S. Yu., Baluev A. S. Horizontal neotectonic movements in the White Sea region. *General and regional problems of tectonics and geodynamics: Materials XLI Tecton. Conference*. Vol. 1. Moscow: GEOS. 2008. Pp. 340–344. (In Russian).

6. Kutinov Yu. G., Bogolicyn K. G., Chistova Z. B. Issledovaniya severnykh territoriy Zemli iz kosmosa: problemy, svoystva, sostoyanie, vozmozhnosti na primere MKS-Arktika: v 3-h tomah [Space exploration of the northern territories of the

Earth: problems, properties, state, possibilities using the example of the ISS "Arctic": 3 vols]. Vol. 2. Ekaterinburg: UrO RAN. 2012. Vol. 2. 272 p. (In Russian).

7. Kutinov Yu. G., Chistova Z. B., Gofarov M. Yu., Mineev A. L. Modern tectonic activity of the Kandalaksha graben according to the data complex. *Vestnik SAFU. Seriya Estestv. nauki*. 2013. No 4, pp. 21–29. (In Russian).

8. Kutinov Yu. G., Chistova Z. B. Ierarhicheskiy ryad proyavleniy shhelochno-ul'traosnovnogo magmatizma Arhangel'skoy amazonosnoy provincii. Ikh otrazhenie v geologo-geofizicheskikh materialah [Hierarchical series of manifestations of alkaline-ultrabasic magmatism of the Arkhangel'sk diamondiferous province. Their reflection in geological and geophysical materials]. Arhangel'sk. 2004. 283 p. (In Russian).

9. Kutinov Yu. G., Chistova Z. B. Arkhangel'sk diamondiferous province on small-scale geological, tectonic and geophysical maps [Elektronnyy resurs]. *Elektronnoe nauchnoe izdanie Al'manah Prostranstvo i Vremya*. 2016. Vol. 11. Iss. 1: Sistema planeta Zemlya. http://www.j-spacetime.com/actual%20content/t11v1/2227-9490e-aprov_r_e-ast11-1-2016.12.php (12.02.2019). (In Russian).

10. Kutinov Yu. G. Ekogeodinamika Arkticheskogo segmenta zemnoy kory [Ecogeodynamics of the Arctic segment of the earth's crust]. Ekaterinburg: UrO RAN. 2005. 388 p. (In Russian).

11. Kucheruk E. V., Alieva E. R. Riftogenic basins and deposits. *Geologiya nefii i gaza*. 1991. No 3, pp. 45–46. (In Russian).

12. Perspektivy neftegazonosnosti kristallicheskogo fundamenta na territorii Tatarstana i Volgo-Kamskogo regiona. Trudy nauchno-prakticheskoy konferencii [Prospects for oil and gas crystalline basement in the territory of Tatarstan and the Volga-Kama Region: Proceedings of the scientific and practical conference]. Kazan'. 1998. 380 p. (In Russian).

13. Stankovskiy A. F., Verichev E. M., Grib V. P. i dr. Vend of the southeastern White Sea. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geol.* 1981. No 2, pp. 78–87. (In Russian).

14. Yudahin F. N., Kutinov Yu. G., Iotov V. I. Criteria and signs of the prospectivity of the Riphean deposits of the Mezen syncline for the detection of oil and gas deposits. *Neftepromyslovoye delo*. 2001. No 4, pp. 15–20. (In Russian).

Кутинов Юрий Григорьевич – доктор геол.-минерал. наук, гл. науч. сотрудник, ФИЦКИА УрО РАН¹.
<kutinov@fciarctic.ru>

Чистова Зинаида Борисовна – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ФИЦКИА УрО РАН¹.
<zchistova@yandex.ru>

Kutinov Yuriy Grigor'evich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher, FCIARctic¹.
<kutinov@fciarctic.ru>

Chistova Zinaida Borisovna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, FCIARctic¹.
<zchistova@yandex.ru>

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения РАН» (ФГБУН «ФИЦКИА УрО РАН»). Наб. Северной Двины, 23, Архангельск, 163000, Россия.

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research (FCIARctic). 23 Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangel'sk, 163000, Russia.