

УДК: 551.2/3 + 553.92 (470+571)

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИМАНО-ВАРАНГЕРСКОГО ПОЯСА

Н.О. Сорохтин^{1,2,3}, Н.Е. Козлов^{2,3}, В.Н. Глазнев⁴, И.В. Чикирёв^{2,3}, С.Л. Никифоров¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

²Геологический институт КНЦ РАН

³Апатитский филиал Мурманского государственного технического университета

⁴Геологический факультет Воронежского государственного университета

Аннотация

Рассмотрены вопросы полистадийного развития западной части Арктического шельфа России, обоснованы пространственно-временные закономерности взаимодействия геодинамических процессов, влияющих на обстановку формирования месторождений традиционных и нетрадиционных видов углеводородного сырья, приведены результаты геолого-геофизических исследований в северо-западной оконечности Кольского п-ова. Анализ полученных данных об изотопном составе углерода в газе из скважин позволил предположить, что наряду с традиционными источниками углеводородного сырья Тимано-Варангерский нефтегазоносный бассейн может быть богат залежами сланцевого газа и, возможно, сланцевой нефти. Выделяемый нами новый, потенциально нефтегазоносный бассейн, с одной стороны, характеризуется формированием захороненных на большие глубины мощных осадочных толщ пассивной окраины Восточно-Европейской платформы в рифее, с другой – развитием в каледонское и герцинское время Норвежско-Мезенской системы рифтов.

Ключевые слова:

геодинамическая эволюция, углеводородное сырье, нефтегазоносность, Арктика, рифей, Тимано-Варангерский пояс, п-ов Рыбачий.

1. Состояние проблемы

Определение масштабов проявления временных эпох генерации и зон локализации углеводородного сырья в пределах западной части Арктического шельфа России связано с выявлением и обоснованием особенностей развития региона в прошлые геологические эпохи. Карско-Баренцевоморский нефтегазоносный бассейн достаточно хорошо изучен геолого-геофизическими методами, однако закономерности пространственно-временного распределения углеводородов (УВ) в его пределах и историко-генетические аспекты развития региона остаются на сегодняшний день практически неисследованными. Предыдущие исследования авторов [1–4] в определенной мере восполняют этот пробел. Так, было показано, что формирование крупной правосторонне-сдвиговой тектонической зоны на границе двух континентальных литосферных плит привело к закрытию разделяющего их океанического бассейна без субдукционного поглощения океанической коры на большей ее части (рис. 1). В пределах западной части Арктического шельфа России выделяется четыре возрастных интервала нефтегенерирующих процессов, которые закономерно распределены в пространстве и отражают специфику развития континентальной коры и океанических бассейнов в регионе. К наиболее ранним потенциально нефтегазоносным образованиям следует относить структурно-вещественные комплексы рифея, которые развиты в зоне сочленения Русской, Тимано-Печорской и Баренцевоморской литосферных плит. Позже возникли потенциально нефтегазоносные площади, которые связаны с закрытием океана Япетус в раннем ордовике – позднем девоне (490–360 млн лет) и локализованы в западной части Баренцевоморской плиты, а также к северу от каледонид Балтийского щита. Еще позже, в результате закрытия Палеоуральского океана в раннепермское – раннетриасовое время (295–241 млн лет) были сформированы нефтегазоносные области к западу

и востоку от Уральской складчатой системы по линии Полярный Урал – Пай-Хой – Новая Земля – п-ов Таймыр.



Рис. 1. Палеогеодинамическая реконструкция северной части Восточно-Европейской платформы и прилегающего арктического бассейна в среднем рифее – венде (1350–535 млн лет назад):
 1 – складчатые образования среднего – верхнего рифея дальсландской области (1200–900 млн лет); 2 – средне-верхнерифейские и вендские осадочные комплексы шельфа и континентального склона пассивной окраины северо-восточной части Балтийского щита и Русской плиты (1350–535 млн лет); 3 – основные линеаменты на Балтийском щите; 4 – рифтогенные образования верхнего рифея; 5 – континентальные терригенные осадки венда (600–535 млн лет); 6 – контур современной береговой линии; 7 – направления растяжения континентальной литосферы;
 8 – генерализованное направление перемещения литосферных плит

Четвертый и завершающий этап формирования нефтегазового потенциала региона связан с зоной накопления УВ биогенного и абиогенного (газогидратного) типов в основании материкового склона на пассивной окраине континента в кайнозое (65–0 млн лет). Все перечисленные этапы генерации и накопления УВ в осадочном чехле континентальной коры европейской части Арктического шельфа России привели к возникновению ряда крупных, закономерно расположенных в пространстве нефтегазоносных областей с гигантским совокупным потенциалом.

Проведенные ранее исследования [3–7] позволили выделить в пределах западной части Российской Арктики ряд закономерно расположенных в пространстве нефтегазоносных бассейнов и провинций, которые отличаются друг от друга по характеру пространственно-временной изменчивости проявления геодинамических процессов. В пределах Баренцево-Северо-Карской, Тимано-Печорской и Западно-Сибирской провинций нами выделено три потенциально богатые углеводородным сырьем и недостаточно исследованные области, которые при обнаружении в них промышленно значимых скоплений могут существенно прирастить нефтегазовый потенциал всего региона.

Одна из них находится на северной оконечности Мурманской обл. в пределах п-ова Рыбачий. Авторы настоящей статьи на протяжении ряда лет занимались геолого-геофизическими исследованиями в данном регионе, в связи с чем посчитали возможным более подробно остановиться на аргументации ее потенциальной нефтегазоносности, акцентировав внимание главным образом на результатах геофизических исследований.

2. Обсуждение результатов исследований

Данные о геологическом строении района, крайне важные при интерпретации геофизических данных, публиковались достаточно подробно [1], поэтому в настоящей работе не приводятся. Детальные геолого-геофизические исследования описываемого региона, проведение количественной интерпретации геофизических данных, изучение рельефа поверхности дна прилегающей к полуострову акватории Баренцева моря, а также разномасштабное дешифрирование аэро-, космоснимков позволили авторам построить схему блокового строения п-овов Средний и Рыбачий и его окружения [4, 8]. На основании этих исследований в пределах п-овов Средний и Рыбачий выделяются три отличные друг от друга структурно-фациальные зоны (рис. 2):

- Северная, или Скорбеевская, представлена сложноскладчатыми прорванными дайками долеритов и многочисленными кварцевыми и карбонатными жилами, сланцами скорбеевской свиты, развитыми на северо-западе Рыбачьего и, предположительно, одновозрастными им сланцами цыпнаволоковской свиты, составляющими северо-западное окончание п-ова Рыбачьего;

- Центральная, или собственно Рыбачинская, представленная смятыми в складки с пологими замками со слабонаклонными к югу осевыми поверхностями и нарушенными разновременными разрывами, частью прокварцованными отложениями одноименного комплекса в составе эйновской и баргоутной серий, занимающих центральную и южную части п-ова;

- Южная фиксируется пологодислоцированными прорванными дайками долеритов отложениями кильдинской серии, развитыми на п-ове Среднем, м. Мотка п-ова Рыбачьего и волоковой серии, приуроченной к северо-западной части п-ова Среднего.

Их линеаментный узор существенно различен: разная ориентировка разрывных деформаций: пологая северо-западная ($280-290^\circ$) для Скорбеевской, северо-западная ($330-335^\circ$) и субмеридиональная ($СЗ-350^\circ$, $СВ-10^\circ$) для Рыбачинской и нечетко выраженная перекрестная северо-западная и субмеридиональная для Южной.

В рамках проводимых в 2005–2009 гг. на п-овах Средний и Рыбачий с участием авторов данной статьи поисковых работ на нефть и газ были пробурены две параметрические скважины. Первая из них – Пограничная-1 достигла глубины 5202 м, из которых 1200 м были пройдены по осадочной толще рифея. Остальная часть скважины (около 4 тыс. м) вскрыла подстилающий его архейский фундамент Балтийского щита. Вторая – Рыбачинская достигла отметки 3001 м, из которых рифейские осадки составили 1400 м. Данные скважины вскрыли разрез лишь одной из трех структурно-фациальных зон в пограничной ее части и были заложены вблизи крупной тектонической зоны (рис. 2). Исследование керн параметрических скважин Пограничная-1 и Рыбачинская показало, что вариации измеренных значений плотности и намагниченности рифейских и архейских пород по стволу и их гомологов на поверхности соответствуют друг другу (табл.).

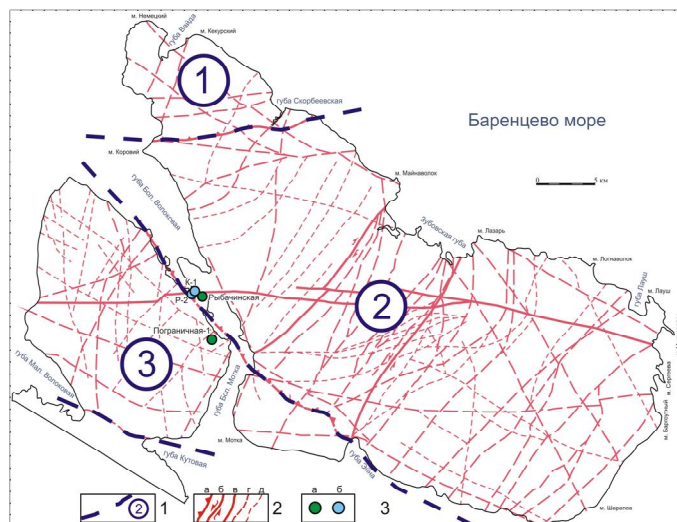


Рис. 2. Структурно-тектоническая схема районирования полуостровов Средний и Рыбачий (по Сорохтину и др. [1]): 1 – структурно-фациальные зоны (цифры в кружках): 1 – Северная, или Скорбеевская, 2 – Центральная, или собственно Рыбачинская, 3 – Южная (п-ов Средний и м. Мотка п-ова Рыбачий); 2 а–в – разрывные нарушения первого ранга (а – надвиги и взбросо-сдвиги, б – сдвиги, в – разломы с неясной кинематикой), г – разрывные нарушения второго ранга, д – разломы третьего ранга; 3 – места расположения пробуренных скважин (а – параметрических, б – поисковых)

Средние значения плотности и магнитности пород по скважине Пограничная-1

Возраст	Название свит, тип пород	Интервалы опробования, м	σ , г/см ³	$\chi \cdot 10^{-3}$, (СИ)	I_n , А/м
Верхний рифей	Землепахтинская	135–142	2.55	0.15	–
	Палвинская	609–783	2.68	0.39	–
	Пряярввинская	931–1090	2.70	0.36	–
Архей, протерозой	Плагииграниты	1092–1720	2.69	9.81	0.22
	Долериты	1720–1760	2.94	11.8	1.9
	Плагииосланцы	1760–2090	2.67	1.5	0.01
	Плагииогнейсы	2090–2300	2.68	3.0	0.4
	Биотит-амфиболовые гнейсы	2300–4375	2.77	3.96	0.91
	Амфиболитизированные долериты	4375–4380	3.16	31.0	7.30

Анализ данных по средним значениям плотности и намагнитченности пород в скважине позволяет сделать три принципиальных вывода, важных для анализа характерных особенностей магнитных аномалий на территории п-овов Средний и Рыбачий. Первый заключается в том, что породы верхнего рифея, представленные в зоне Тана-Кильдин на п-ове Средний, залегают непосредственно на архейском фундаменте. Второй указывает на то, что в архейской части разреза скважины Пограничная-1 преобладают породы с заметными значениями магнитной восприимчивости и остаточной намагнитченности. То есть вариации в глубинном положении кристаллического фундамента должны отражаться в наблюдаемом магнитном поле. Третий вывод вытекает из наличия в подстилающей осадочные комплексы рифея архейской части разреза пластовых тел основного состава, представленных мелкозернистыми долеритами.

При этом они обладают высокой плотностью и магнитной восприимчивостью, а также высокой остаточной намагниченностью. Поскольку тела долеритов обладают магнитными характеристиками существенно более высокими, чем вмещающие плагиограниты и плагиогнейсы архейского комплекса, то вполне возможно, что они могут являться источниками выраженных локальных аномалий магнитного поля в этом регионе.

Используя петрофизические данные о магнитной восприимчивости рифейских пород (табл.), можно заключить, что источники аномального поля на изучаемой территории – преимущественно породы архейского фундамента. Качественный анализ и оценка глубинного положения источников региональной компоненты магнитного поля позволяет указать, что верхняя граница намагниченного комплекса фундамента погружается в северо-восточном направлении до глубины 5-6 км на северном побережье п-ова Рыбачий. Таким образом, характеристики аномального магнитного поля региона показывают принципиальные отличия в структуре кристаллического фундамента п-овов Средний и Рыбачий. При этом роль рифейского осадочного чехла в формировании самостоятельного аномального магнитного поля (его локальных аномалий), вероятно, весьма не значительна (рис. 3).

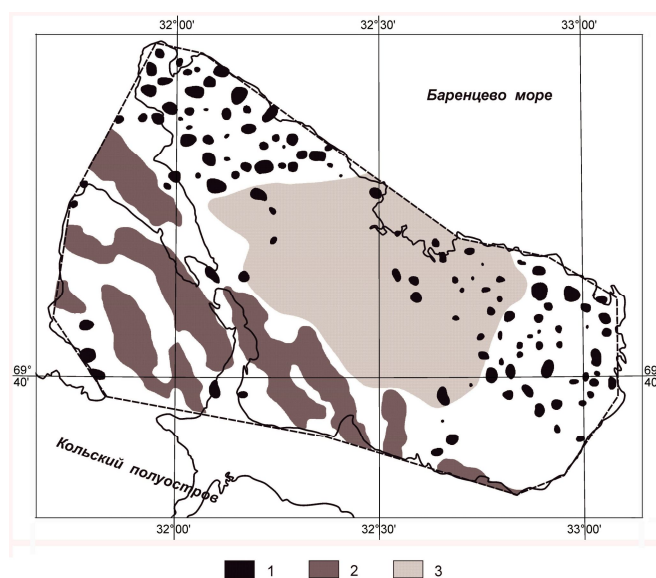


Рис. 3. Характер локального магнитного поля региона. Условные обозначения:
1 – положительные изометричные аномалии; 2 – положительные не изометричные аномалии;
3 – область спокойного пониженного поля

Проведенная в регионе аэрогазовая съемка обнаружила в приповерхностном слое воздуха ореолы эманаций метана и пропана [4]. При этом на п-ове Средний не установлено значимых аномалий легких УВ. В противовес этому, в западных и восточных районах п-ова Рыбачий отмечается закономерное возрастание содержаний легких УВ. Максимальное содержание метана и пропана связано, вероятно, с широким развитием здесь углеродсодержащих пород. Аномальные области повышенных содержаний легких УВ пространственно приурочены к областям относительно понижения рельефа в береговой зоне запада и востока п-ова Рыбачий (рис. 4) и могут указывать на повышенное содержание легких УВ в материнских породах, обладающих относительно высокой проницаемостью и пониженной устойчивостью к процессам денудации.

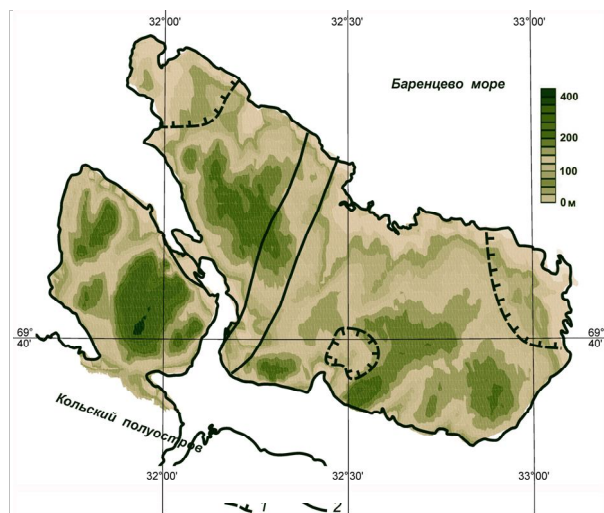


Рис. 4. Положение ореолов газовых эманаций с аномальным (повышенным) содержанием метана и пропана на карте рельефа п-овов Средний и Рыбачий. Условные обозначения:
1 – изометричные области аномальных содержаний; 2 – линейные зоны с аномальными содержаниями

Ранее авторами [4] были отмечены также линейные аномальные зоны, вытянутые в субмеридиональном направлении от южного до северного побережья п-ова Рыбачий в его центральной части, для одной из которых была отмечена связь с тектоникой рифейского осадочного чехла. Данная зона практически точно совпадает с крупными сдвигами, которые ограничивают структуру клавишного типа в центральной части п-ова Рыбачий (рис. 2). Другая линейная зона проявления эманаций газа, расположенная в районе перешейка между п-овами Средний и Рыбачий и вытянутая в северо-западном направлении, совпадает с крупной региональной сдвиго-надвиговой структурой, разделяющей фациальные зоны рифейского осадочного чехла, и маркируется повышенными газовыми максимумами. В этой зоне были пробурены две поисковые скважины, вскрывшие тектонические брекчии с устойчивым долговременным притоком газа.

Данные газовой съемки указывают на возможное наличие в пределах рифейского осадочного чехла п-ова Рыбачий областей потенциальной концентрации УВ, но не позволяют сделать вывод о положении в разрезе рифейского осадочного чехла потенциально нефтегазоносных комплексов. В то же время по аналогии с известными месторождениями, на которых регистрируются аномалии легких УВ, можно предполагать, что такие перспективные участки располагаются вблизи аномальных зон. По данным авторов статьи, выделяемая зона субмеридионального простирания, пересекающая достаточно однородную толщу осадочных пород в средней части п-ова Рыбачий, наиболее перспективна на обнаружение промышленно значимых скоплений углеводородного сырья. Обращает на себя внимание и тот факт, что блок не осложнен значимыми магнитными аномалиями (рис. 3), т.е. является некой самостоятельной тектонической единицей.

В качестве дополнительной характеристики породных комплексов региона можно рассмотреть также величину суммарной интенсивности аномалий гамма-фона, зарегистрированных по данным аэросъемки [9]. Характерно, что на интенсивность этих аномалий влияют многочисленные факторы, главными среди которых являются состав пород, насыщенность радиогенными элементами, наличие перекрывающих четвертичных осадков, их мощность и обводненность. Проведенные наблюдения, которые выполнялись современной высокочувствительной аппаратурой по всей территории п-овов Средний и Рыбачий, в целом не

дали однозначного ответа о возможном наличии скоплений УВ, однако вместе с аэромагнитными данными позволили наметить участки для последующих детальных геофизических работ.

Анализ данных гамма-спектрометрической съемки с целью выделения преобладающих возможных аномалий гамма-фона был проведен по площади распределения общей интенсивности излучения. Карта этого параметра, показанная на рис. 5 в виде отдельных аномальных областей, хорошо локализована в пространстве, что делает характеристику суммарной интенсивности излучения более удобной для последующего геолого-тектонического анализа.

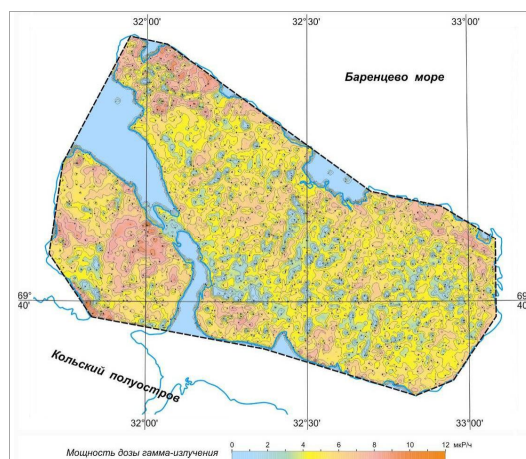


Рис. 5. Карта мощности экспозиционной дозы гамма-излучения

Принципиально важный результат проведенных съемок – отсутствие в пределах центральной части п-ова Рыбачий практически значимых спектрометрических аномалий гамма-излучения. Отдельные повышения концентрации радиогенных элементов не образуют закономерного характера и являются, скорее всего, просто случайными ошибками наблюдений или технологическими особенностями методики съемки. В западном и восточном обрамлении п-ова Рыбачий отмечаются относительно протяженные аномалии гамма-фона, приуроченные к породам верхнего рифея (кильдинская серия). Эти аномалии свидетельствуют о возможном обогащении пород радиогенными элементами, что характерно для большинства углеродсодержащих пород. На п-ове Средний отмечается закономерное возрастание интенсивности и количества изометричных аномалий суммарного гамма-фона, что свидетельствует об ином составе пород и, частично, о тектонической обособленности территории п-ова. Выявленные различия в характере гамма-фона изучаемых территорий п-овов Средний и Рыбачий позволяют предположить различия в специфике взаимосвязи геохимических и геологических процессов на стадии формирования рифейских осадочных отложений в пределах этих единиц.

Результаты проведенных комплексных аэрогеофизических исследований и новая геологическая интерпретация этих данных, опирающаяся на материалы петрофизических исследований керна скважин Пограничная-1 и Рыбачинская, а также данных ГИС по ним, обеспечили возможность выявления главных структурных и тектонических особенностей строения рифейского осадочного чехла и архейского кристаллического фундамента в районе исследований (рис. 2) и оценить мощность осадочного чехла (рис. 6). Полученные содержательные физические оценки положения фундамента и выявленная приуроченность магнитных аномалий к пластовым телам основного состава позволили сформулировать ряд принципиальных выводов о строении верхней части земной коры нашего региона исследований.

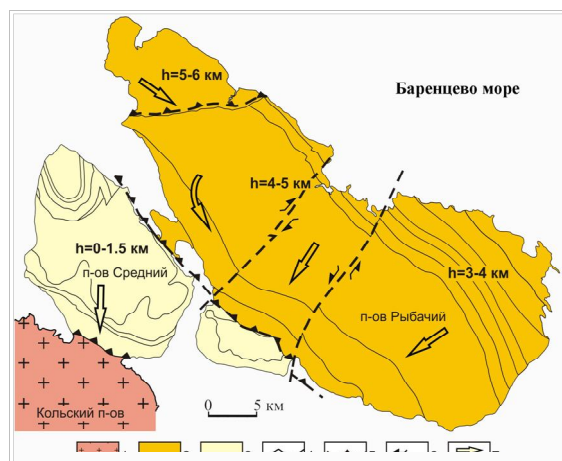


Рис. 6. Основные тектонические элементы района п-овов Среднего и Рыбачьего (по Сорохтину и др., [1, 2, 4] с дополнениями). Цифрами показана оценка мощности рифейского чехла. Условные обозначения: 1 – верхнеархейские комплексы Кольского п-ова; 2 – отложения среднего рифея; 3 – отложения верхнего рифея и, возможно, венда; 4 – геологические границы; 5–6 – крупные линеаменты: 5 – сбросо-надвижки; 6 – сдвиги; 7 – генерализованные направления смещения блоков коры

Первый из них касается существенного отличия в условиях формирования, строении и тектонике геологических образований п-овов Средний и Рыбачий. В геофизических полях эти два объекта представляются принципиально различными блоками коры, вероятно, с различным типом осадочного чехла и кристаллического фундамента, причем фундамент в пределах п-ова Средний по петрофизическим параметрам и характеру аномальных полей можно считать прямым продолжением типичных кристаллических пород Мурманского блока. Максимально возможная мощность осадочного рифейского чехла в пределах п-ова Средний не должна превышать 1–2 км, что следует из петрофизических свойств пород фундамента и собственно чехла, а также из оценок поперечных размеров локальных аномалий гравитационного и магнитного полей в данном регионе (рис. 6).

В пределах п-ова Рыбачий по данным комплексной аэросъемки (магнитное поле, аномалии содержания легких УВ в приземном слое, гамма-спектрометрия) прослеживается возможность выделения трех различных блоков, отличающихся характером геологического строения, выраженного в аномальных полях. Фундамент территории п-ова Рыбачий представляется иным, нежели примыкающий с юга архейский Мурманский блок. Ориентировка региональных аномалий в пределах п-ова Рыбачий не совпадает с ориентировкой локальных геофизических аномалий, что указывает на значительную роль более поздних тектонических процессов в формировании этой крупной структурной единицы. В развитии территории присутствуют элементы сдвиговой тектоники. Характер сочленения п-овов Рыбачий и Средний представляется как правосторонний сдвиг с надвиговой компонентой перемещений. Оценка мощности осадочного чехла дается в пределах первых километров (3–6 км), что согласуется с результатами сейсмических работ МОГТ.

Комплексный анализ геолого-геофизических данных позволяет выделить перспективную на поиски месторождений УВ площадь, а геохимический анализ проб, взятых из двух поисковых скважин, показал, что состав газа многокомпонентен и имеет явный метановый тренд, при этом образование газа происходило, вероятно, при смешении трех источников – низкотемпературной компоненты биогенного происхождения, высокотемпературного глубинного газа абиогенной природы и сланцевого газа [1, 2, 4].

3. Выводы

Исследования пологозалегающих и слабометаморфизованных осадочных толщ северо-западной части Тимано-Варангерского пояса показали, что они могут обладать очень большим нефтегазоносным потенциалом как традиционного, так и нетрадиционного типов. Изучение физических свойств горных пород разреза выявило наличие благоприятных условий для формирования залежей углеводородного сырья и, в первую очередь, для скоплений сланцевого газа. К сожалению, бурение первой (Пограничная-1, глубиной 5202 м) и второй (Рыбачинская, глубиной 3001 м) параметрических скважин вскрыло разрезы только одной из трех структурно-фациальных зон, что не дало полного представления о перспективах остальной территории на поиски углеводородного сырья. Мало того, они были пробурены в пограничной зоне и не могли подсесть продуктивные горизонты, так как находились в области развития крупного разлома.

Проведение комплексных геолого-геофизических исследований в регионе показало, что в пределах п-ова Рыбачий возможно существование областей с потенциальной концентрацией углеводородов, находящихся в рифейском осадочном чехле, а их локализация контролируется крупными разрывными нарушениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нефтегазоносность Баренцево-Карского шельфа России и прогнозные критерии поиска УВ сырья в прибрежной зоне Кольского региона / Н.О. Сорохтин [и др.] // Вестник КНЦ РАН. 2010. № 1. С. 66–82.
2. Потенциальная нефтегазоносность западной части Арктического шельфа России и прогнозные критерии поиска УВ сырья в прибрежной зоне Кольского полуострова / Н.О. Сорохтин и др. // Вестник МГТУ. 2010. Т. 13, № 4/1. С. 736–750. (Труды МГТУ).
3. Геология и потенциальная нефтегазоносность п-ова Рыбачий (Кольский полуостров) / Н.О. Сорохтин [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2011. № 5. С. 14–19.
4. Нефтегазоносность неопротерозойских осадочных комплексов Тимано-Варангерского пояса / Н.О. Сорохтин [и др.] // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 2. С. 349–363.
5. Sorokhtin N. O., Chilingar G. V., Kozlov N. E. & Shin S. Geodynamic Evolution of Oil and Gas Basins in the European Part of the Eurasian Arctic Shelf. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2012. Vol. 34, Issue 22. December. P. 2092–2103.
6. Sorokhtin N. O., Chilingar G. V., Kozlov N. E. & Shin S. The Oil and Gas Potential of the Eurasian Western Arctic Shelf. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2012. Vol. 34, Issue 23. December. P. 2220–2233.
7. Sorokhtin N.O., Chilingarian G.V., Kozlov N.E., Glaznev V.N. Oil and gas content of the Eurasian western arctic shelf and prediction criteria of searching hydrocarbonic raw materials in a coastal zone of the Kola region // Izvestia RANS (Russian academia of natural sciences). Special issue. 2012. Vol. 21. P. 119–135.
8. Идентификация коровых отражений в зоне перехода от Балтийского щита к Баренцевоморской плите как основа прогнозирования полезных ископаемых / В.Н. Глазнев [и др.] // Вестник ВГУ. 2014. № 1. С. 95–102.
9. Отчет по комплексной аэрогеофизической (магнитной, гамма-спектрометрической, газовой на метан и пропан) съемке масштаба 1 : 50000 на территории Мурманской области (район п-овов Средний и Рыбачий) / Гололобов Ю.Н. (отв. исп.); ФГУ НПП «Геологоразведка». СПб., 2003. 85 с. 12 граф. прил.

Сведения об авторах

Сорохтин Николай Олегович – д.г.-м.н., главный научный сотрудник лаборатории геодинамики и сейсмологии Института океанологии им. П.П. Ширшова; e-mail: nsorokhtin@ocean.ru

Козлов Николай Евгеньевич – д.г.-м.н., профессор, зав. лабораторией Геологического института КНЦ РАН; директор Апатитского филиала МГТУ, профессор кафедры геологии и полезных ископаемых; e-mail: kozlovne@afmgtu.apatity.ru

Глазнев Виктор Николаевич – д.ф.-м.н., зав. кафедрой геологического факультета Воронежского государственного университета; e-mail: victor.glaznev@smtpr.ru

Чикирёв Игорь Владимирович – к.г.-м.н., научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН; зам. директора Апатитского филиала МГТУ, профессор кафедры геологии и полезных ископаемых, e-mail: chikiryeviv@afmgtu.apatity.ru

Никифоров Сергей Львович – д.г.н., заведующий лабораторией сейсмостратиграфии Института океанологии им. П.П. Ширшова; email: nikiforov@ocean.ru