

УДК 551.2/3+553.98(470+571/1-922)

Н.О. Сорохтин, Л.И. Лобковский, Н.Е. Козлов, И.В. Чикирёв,
В.Н. Глазнев, С.Л. Никифоров, Г.В. Новиков

Нефтегазоносность неопротерозойских осадочных комплексов Тимано-Варангерского пояса

N.O. Sorokhtin, L.I. Lobkovsky, N.E. Kozlov, I.V. Chikiryov,
V.N. Glaznev, S.L. Nikiforov, G.V. Novikov

Oil-and-gas content of the Neoproterozoic sedimentary complex of the Timano-Varanger belt

Аннотация. Рассмотрены перспективы развития Тимано-Варангерского нефтегазоносного бассейна (НГБ), включающего захороненные на большие глубины мощные осадочные толщи пассивной окраины древнего архейского континента, сформированные в мезо- и неопротерозое, а также Норвежско-Мезенскую систему рифтов, получившую развитие в каледонское и герцинское время. Описаны пространственно-временные закономерности взаимодействия геодинамических процессов, определяющих условия формирования месторождений традиционных и нетрадиционных видов углеводородного (УВ) сырья. На основе анализа данных об изотопном составе углерода в газе из скважин установлено, что его природа определяется смешением различных генетических типов генерации.

Abstract. The prospects of the Timano-Varanger oil and gas basin development have been considered. The basin includes buried at great depths powerful sedimentary strata of the passive margin of the Archean continent in ancient Meso- and Neoproterozoic and the Norwegian-Mezenskaya rift system developed in Caledonian and Hercynian time. The spatial and temporal regularities of geodynamic processes determining types of formation of deposition of traditional and non-traditional types of hydrocarbon raw materials have been described. Basing the analysis of data on the isotopic composition of carbon in the gas from the wells it has been established that its nature is determined by mixing different genetic types.

Ключевые слова: пассивная окраина континента, геодинамика, геология, геохимия, стратиграфия, полезные ископаемые, Балтийский щит, мезопротерозой, неопротерозой

Key words: passive margin of the continent, geodynamics, geology, geochemistry, stratigraphy, mineral deposits, Baltic Shield, Mesoproterozoic, Neoproterozoic

1. Введение

Современные методы палеогеодинамической реконструкции наблюдаемых процессов взаимодействия разновозрастных структурно-вещественных ансамблей позволяют выявлять условия их формирования и генетические связи между образующимися скоплениями полезных ископаемых. В процессе эволюции Восточно-Европейской платформы (ВЕП) ее северная и северо-западная (в современных румбах) оконечности в постархейское время, по-видимому, периодически испытывали процессы раскола и коллизионного сочленения с Северо-Американской литосферной плитой (Хаин, 2001). На это, в частности, указывает сопоставимость структурно-вещественных комплексов свекофеннид Балтийского щита и кетилид южной Гренландии и Канады, сформированных около 1,9-1,8 млрд лет назад во время закрытия Свекофеннского палеоокеана при формировании суперконтинента Мегагея (1,9-1,8 млрд лет назад). Отсутствие в литературе достоверных геологических данных о сопоставимости структурно-вещественных комплексов, образованных в этой части платформы позднее, в период раннего и среднего рифея (1650-1000 млн лет назад), может косвенно указывать на процессы раскрытия океана Палеоаяпетус, разделившего некогда единые Канадско-Гренландские континентальные образования и родственные им структурно-вещественные комплексы Балтийского щита.

В Перитиманской области и в Кандалакско-Двинском бассейне в период времени 1350-1050 млн лет назад развивались структуры прогибания фундамента и накопления континентальных терригенных осадков с примесью вулканитов (Хаин, 2001). В это же время на северо-востоке Русской плиты начинают формироваться шельфовые и склоновые осадочные комплексы пассивной окраины континента (Негрукца и др., 1993). Данные об этих процессах согласуются с фактическим материалом о распаде суперконтинента Мегагея (впервые предположил возможность существования гипотетического материка в рифейское время немецкий геолог Ханс Штилле в 1944 г.) (около 1,7 млрд лет назад), продолжавшемся вплоть до позднего рифея (около 1000 млн лет назад), когда был сформирован следующий в истории

Земли суперконтинент Мезогейя (Родиния) (Сорохтин, Ушаков, 1991). В это время в северо-западной периферической зоне ВЕП формируется Дальсландская складчатая область, являющаяся продолжением Гренвилльского пояса в Канаде и Гренландии и маркирующая зону закрытия океана Палеояпетус.

В венде (600-535 млн лет назад) процессы ее пенеппенизации привели к формированию комплекса континентальных терригенных осадков со следами тиллитов на северо-западе (Чумаков, 1978) и прибрежно-морских образований на севере в районе п-ова Варангер (Raaben et al., 1995) (рис. 1). В это же время продолжалось накопление осадочного комплекса шельфовых и континентально-склоновых образований на северной и северо-восточной окраинах Русской плиты. Дальсландский орогенез на западе привел к формированию целого ряда закономерно расположенных в пространстве рифтовых систем в ее северо-восточных районах. При этом тектонические условия их формирования носили явный отраженный характер, что закономерно сказалось на практически полном отсутствии магматической составляющей в разрезах рифтов и на плечах структур. Лишь на северной оконечности Кольского п-ова и на п-овах Средний и Рыбачий отмечены редкие тела и дайки долеритов, относимые к данному времени.

Условия относительного тектонического покоя в восточной и северо-восточной частях ВЕП в течение продолжительного периода времени 1350-535 млн лет (более 800 млн лет) свидетельствуют о возможном накоплении огромных масс потенциально нефтегазоносных осадочных образований на шельфе, склоне и в подножии континента. В эту эпоху континент последовательно мигрировал из приэкваториальной зоны Земли (около 1,0 млрд лет назад), где он находился в момент формирования Мезогейи, в приполярные области (800-650 млн лет назад), а затем – в обратном направлении (около 550 млн лет назад) (Сорохтин, Ушаков, 1991; 2002) (рис. 1).

В настоящее время рифейские образования пассивной окраины севера и северо-востока (в современных румбах) Русской плиты обнажены в пределах п-ова Варангер в северной Норвегии, п-овах Средний, Рыбачий и о-ва Кильдин на северной оконечности Кольского п-ова, а также на Канином носу и Тиманском выступе в Архангельской области. В геологической литературе эти образования выделяются как Тимано-Варангерская система байкалитид (Милановский, 1996; Симонов и др., 1998) и представляют собой моноклинальное напластование средне-, верхнерифейских и вендских метаморфизованных осадочных комплексов, тектонически взброшенных, а местами надвинутых на архейские и раннепротерозойские образования Балтийского щита и Русской плиты (Сейсмогеологическая модель..., 1997). Поверхность моноклинала полого погружается в сторону Южно-Баренцевоморской впадины под углами 2-5°, а затем угол наклона увеличивается до 5-10° (Симонов и др., 1998). Сейсмический профиль через п-ова Средний и Рыбачий изображен на рис. 2.

Осадочные комплексы среднего рифея представлены сероцветными полимиктовыми конглобрекциями, конгломератами и гравелитами с прослоями алевролитов и псаммитов. В верхних частях разреза наблюдается переслаивание сероцветных аргиллитов, алевролитов, полимиктовых псаммитов и конгломератов с линзами и конкрециями карбонатных пород. Верхнерифейские и вендские образования изображены в виде переслаивания разноцветных кварцевых, олигомиктовых и аркозовых псаммитов, алевролитов, пелитов и доломитов. В разрезе встречаются прослои полимиктовых конглобрекций с обломками фосфоритов и карбонатных стяжений. Вторичные преобразования соответствуют стадии глубинного катагенеза – начального метагенеза (Чикирёв, 1995). Геодинамические условия накопления перечисленных комплексов отвечают единому латеральному ряду шельфовых, континентально-склоновых и подножно-континентальных образований (Негруца и др., 1993).

Присутствие в разрезе фосфоритов и карбонатных стяжений указывает на существование в указанное время эпиконтинентальных морских условий в северо-восточной части литосферной плиты и наличие зоны апвеллинга. Здесь следует оговориться, что фосфоритообразование в этих зонах характерно только для тропических областей океана, тогда как Восточно-Европейская платформа только к позднему рифею и венду сместилась в более низкие широты из приполярных областей (рис. 1). Факт обнаружения незначительных концентраций фосфоритов только в верхах разреза свидетельствует о начальном этапе их образования, а также о нахождении континентальной плиты в умеренной климатической зоне. Это же касается и карбонатных стяжений, которые способны формироваться за счет выпаривания солей карбоната на мелководье и в умеренных, субтропических или аридных климатических условиях.

В позднем венде (раннем кембрии, около 570-510 млн лет назад) произошло сочленение северной и северо-восточной оконечностей Русской плиты с Баренцево-Печорской плитой (БПП), которая впоследствии была разделена на Свальбардскую, Северо-Карскую и Печорскую (Хаин, 2001). При этом к северо-западу от нее еще существовал океан Япетус, сформированный после распада суперконтинента Мезогейя (Родиния). Процесс приращения ВЕП в этой ее части протекал без интенсивной складчатости и магматизма, на что указывают все имеющиеся геолого-геофизические данные. По-видимому, сочленение двух континентов происходило по зоне касательного проскальзывания, подобно смещающимся вдоль трансформного разлома блокам.

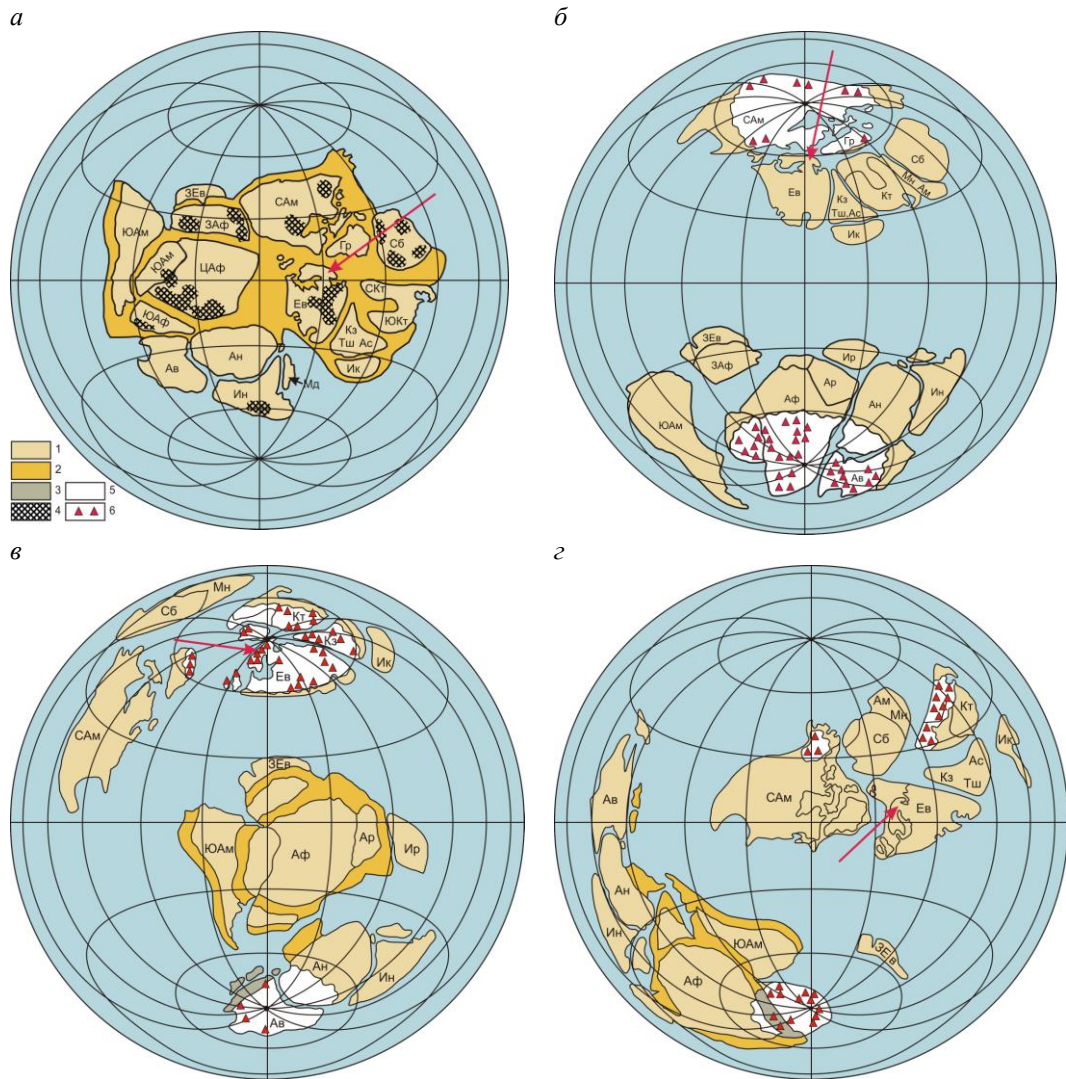


Рис. 1. Палеогеодинамическая реконструкция суперконтинента Мезогея (Родиния) и его распад на Гондвану и Лавразию в проекции Ламберта (Сорохтин и др., 2010): а – суперконтинент Мезогея (около 1 млрд лет назад); б – распад Мезогеи на Гондвану и Лавразию (около 800-750 млн лет назад); в – распад Гондваны и Лавразии (около 650 млн лет назад); г – продолжение распада Гондваны и Лавразии (около 550 млн лет назад); 1 – континентальная литосфера; 2 – складчатые пояса; 3 – складчатые пояса в областях распространения покровного оледенения; 4 – красноцветы; 5 – области покровного оледенения; 6 – тиллиты и тиллоиды. Цветной стрелкой отмечено положение Балтийского щита Русской плиты

Процесс сочленения двух плит привел к надвиганию шельфовых и континентально-склоновых образований среднего и позднего рифея и венда на окраину ВЕП и формированию в районе п-овов Средний и Рыбачий крупных правосторонних сдвиговых и взбросо-надвиговых структур. А.П. Симонов с соавторами (1998) отмечает, что процессы формирования Тимано-Варангерской шовной зоны сопряжены с резким уменьшением мощности разреза в северо-западном (Кольско-Канинском) сегменте, тогда как в юго-восточном (Тиманском) наблюдается многократное его увеличение. К этому следует добавить, что в разрезе отсутствуют образования раннего рифея и лишь в юго-восточной части Тимано-Варангерской шовной зоны присутствуют осадки данного возраста (Хаин, 2001).

2. Обсуждение результатов

Описанные факты мы связываем с правосторонне-сдвиговым сочленением двух литосферных плит, при котором разделяющий их океанический бассейн был закрыт без субдукционного поглощения на большей части зоны сочленения. При этом наиболее молодые фрагменты разреза шельфовых и континентально-склоновых образований Восточно-Европейской платформы были взброшены на край плиты, а частью срезаны, перемещены и сгружены в юго-восточном направлении. Более древние,

нижнерифейские комплексы, слагавшие нижние уровни склона и подножья континента, скорее всего, были захоронены в глубинной части сформированной шовной зоны. Эти процессы привели к увеличению степени складчатости и метаморфизма, вплоть до зеленосланцевой фации в пределах Канинской и Тиманской частей разреза, а также к проявлению контрастного магматизма от гранитоидного и гранодиоритового до габбродиабазового. Еще южнее (в Предуралье) эта зона переходит в конвергентную структуру, о чем свидетельствует вскрытый бурением комплекс магматических пород островдужного типа (Хаун, 2001).

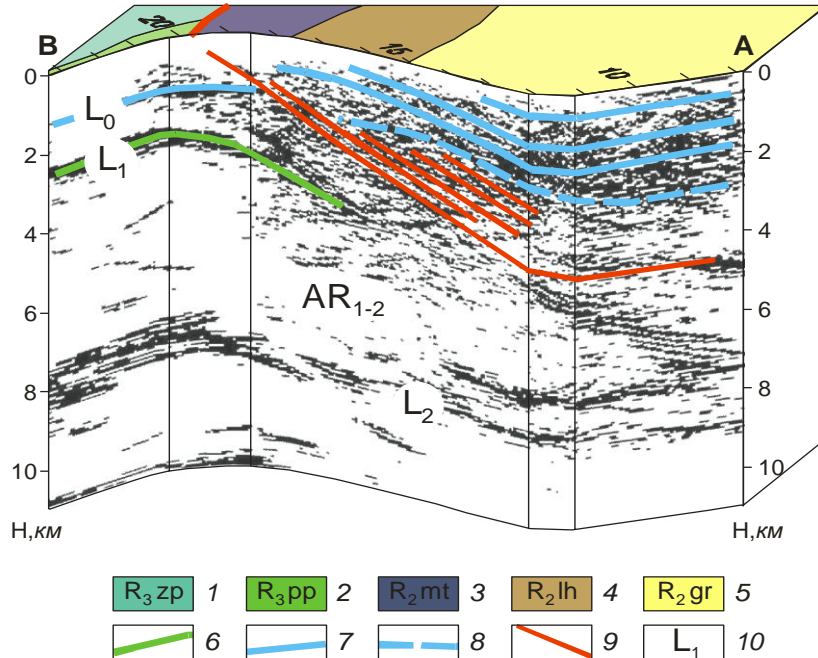


Рис. 2. Фрагмент сейсмического разреза, выполненного методом отраженных волн – общей глубинной точки (МОВ-ОГТ) по профилю 1 п-ова Рыбачий: 1 – землепахтинская свита; 2 – поропелонская свита; 3 – мотовская свита; 4 – лонская свита; 5 – городецкая свита; 6 – долеритовые силлы; 7 – границы свит рифейского чехла; 8 – положение предполагаемой границы фундамента на п-ове Рыбачий; 9 – тектонические нарушения в сдвиговой зоне; 10 – маркирующие отражающие горизонты, по данным ОГТ (Заможняя и др., 2001)

Вслед за А.Н. Дмитриевским и М.Д. Белониным (2004) описываемая территория была нами разделена на ряд закономерно расположенных в пространстве нефтегазоносных бассейнов и провинций (Сорохтин и др., 2011; Sorokhtin et al., 2012) (рис. 3). При этом пространственно-временные закономерности размещения типов УВ, а также геолого-геодинамический анализ корообразующих и преобразующих процессов показали, что бассейны Северного, Норвежского и Западно-Баренцевского морей резко отличны от Баренцево-Северо-Карской, Тимано-Печорской и Западно-Сибирской провинций и, скорее всего, могут быть разделены на два крупных генетических типа (Сорохтин и др., 2011). К первому типу можно отнести нефтегазоносные бассейны (НГБ), в процессе эволюции которых отмечались один – каледонский – (Норвежско-Баренцевский НГБ) или два – каледонский и герцинский – этапа тектоно-магматической активизации (Западно-Норвежский), а ко второму типу – бассейны, процесс эволюции которых включает только один период магматической активизации – герцинский (Баренцево-Северо-Карский, Тимано-Печорский НГБ и Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция (НГП)). Кроме этого, в пределах южной части Баренцево-Северо-Карской и Тимано-Печорской провинций, на границе с архейскими комплексами Балтийского щита выделяется самостоятельная зона потенциального нефтегазонакопления рифейского возраста, что подчеркивает ее уникальность и возможность существенного приращения совокупного УВ-потенциала. Эта область примечательна тем, что процессы генерации углеводородного сырья в ней протекали на протяжении наиболее продолжительного времени (около 800 млн лет), а общий потенциал был сформирован в результате проявления трех тектоно-термальных эпох: байкальской, каледонской и герцинской.

Северная граница выделяемых нефтегазоносных бассейнов и провинций, сопряженных с зоной сочленения континентального склона с океанической литосферой Атлантического и Северного Ледовитого океанов может быть проведена по богатому газогидратами материковому подножью, что, возможно, существенно изменит в будущем их совокупный нефтегазовый потенциал. Следует отметить,

что наименее изученным ввиду сложных климатических условий является Северо-Карский бассейн, который, по-видимому, следует считать естественным продолжением Свальбардской плиты и отделенным от Южно-Карского фрагмента Западно-Сибирской нефтегазовой провинции трансформным разломом.

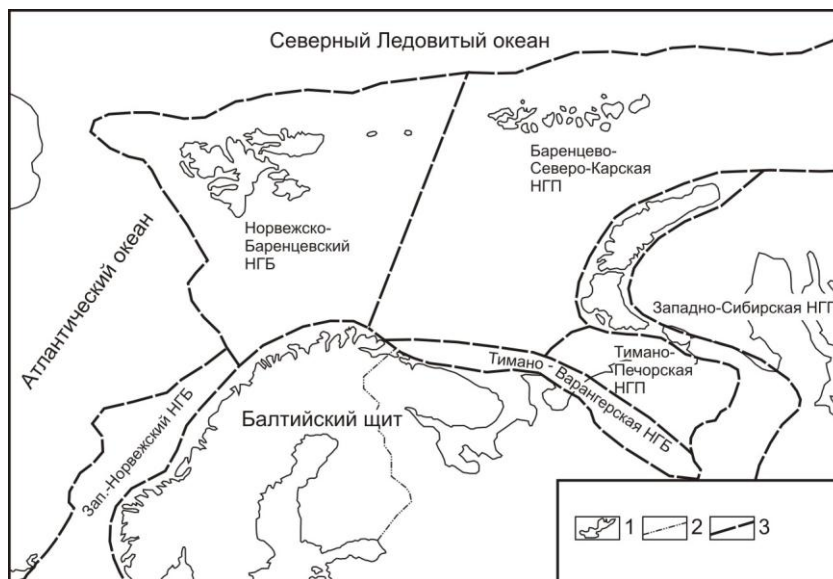


Рис. 3. Нефтегазоносные бассейны и провинции запада Российской Арктики, по данным А.Н. Дмитриевского и М.Д. Белониной (2004), с изменениями и дополнениями: 1 – контур береговой линии; 2 – государственная граница и граница ответственности Арктического сектора России; 3 – срединная линия между территориями России и Норвегии; границы нефтегазоносных бассейнов, областей и провинций

Детальные геолого-геофизические исследования стратиграфических разрезов северо-западной части Тимано-Варангерского пояса байкалид позволяют в первом приближении оценить перспективы обнаружения промышленно значимых скоплений УВ-сырья и выявить потенциальные площади их локализации.

В пределах п-овов Средний и Рыбачий в настоящее время можно выделить три отличные друг от друга структурно-формационные зоны (рис. 4). Северная (Скарбеевская) зона представлена сложноскладчатыми сланцами одноименной свиты, прорванными дайками диабазов и многочисленными кварцевыми и карбонатными жилами. Она развита на северо-западе п-ова Рыбачий и сопоставима с одновозрастными сланцами цыпнаволоковской свиты, составляющими северо-восточное окончание п-ова Рыбачий.

Центральная (Рыбачинская) зона представлена смятыми в ассиметричные слабопрокинутыми к югу пологими складками и нарушенными разновременными разрывами, частью прокварцованными, отложениями одноименного комплекса в составе эйновской и баргоутной серий, занимающих центральную и южную части п-ова. Южная зона фиксируется пологодислоцированными прорванными дайками диабазов, отложениями кильдинской серии, развитыми на п-ове Средний, мысе Мотка п-ова Рыбачий и волоковой серии, приуроченной к северо-западной части п-ова Средний. Их линиamentный узор существенно различен и обусловлен разными ориентировками разрывных деформаций: пологой северо-западной (280-290°) для Скарбеевской зоны; северо-западной (330-335°) и субмеридиональной (СЗ-350°, СВ-10°) для Рыбачинской зоны; нечетко выраженной перекрестной северо-западной и субмеридиональной для п-ова Средний (рис. 4).

Детальные геолого-геофизические исследования описываемого региона, разномасштабное дешифрирование аэро-, космоснимков и детальных карт поверхности дна прилегающей к полуострову акватории Баренцева моря позволили создать схему блокового строения северо-восточной оконечности Балтийского щита (рис. 5). Анализ полученных данных показывает закономерное пространственное соподчинение структур проседания в пределах развития грабена Варангер к северу от Кольского п-ова и структурных элементов клавишного типа на п-ове Рыбачий. Очевидно, что центральная часть п-ова Рыбачий является структурой проседания, ограниченной крупноамплитудными сдвигами трансформного типа. Горизонтальные амплитуды смещения по ним достигают 100 (150)-1000 м; длина вертикальной составляющей около 60 м. К северу степень проседания центральной зоны полуострова увеличивается.

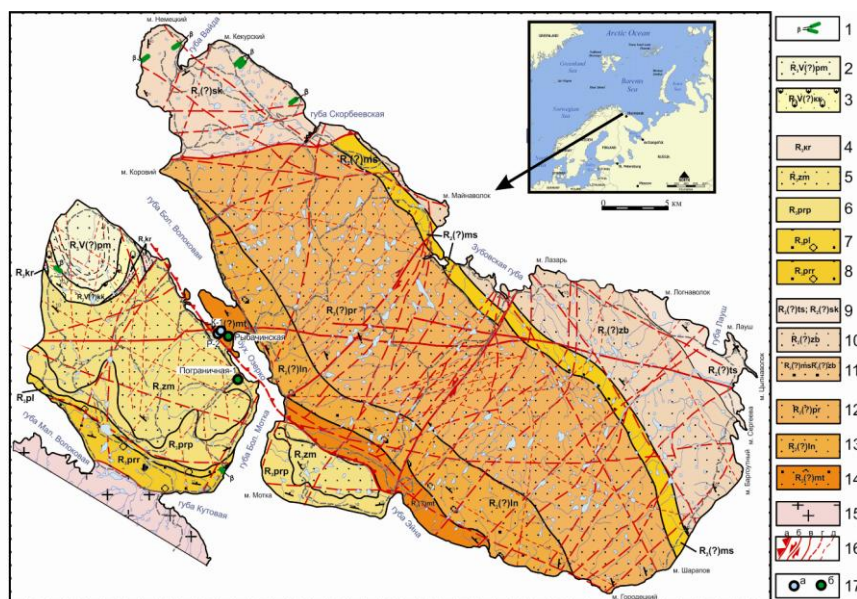


Рис. 4. Геологическая карта п-овов Средний и Рыбачий: 1 – дайки долеритов; 2-8 – **верхний рифей (венд?)**, **кильдинская структурно-формационная зона**: волоховая серия (2, 3); пуманская свита – переслаивание желтовато-серых аркозовых псаммитов, алевролитов и темноцветных пелитов (2); куяканская свита – желтовато-серые полимиктовые конглобрекции с обломками фосфоритов, аркозовые гравелиты и псаммиты с маломощными прослоями темноцветных алевролитов и пелитов (3); **кильдинская серия** (4-8): каруярвинская свита – переслаивание пестроцветноокрашенных аркозовых и олигомиктовых псаммитов, алевролитов и доломитов (4); землепахтинская свита – желтовато-серые аркозовые псаммиты с маломощными прослоями алевролитов и пелитов с линзами фосфоритсодержащих пород (5); поропелонская свита – переслаивание серо-зеленых аркозовых псаммитов и темноцветных алевролитов (6); палвинская свита – переслаивание разноцветных кварцевых, олигомиктовых и аркозовых псаммитов, алевролитов, пелитов и доломитов (7); пряярвинская свита – переслаивание серо-зеленых и кварцевых, олигомиктовых и аркозовых псаммитов, темноцветных алевролитов и пелитов (8); 9-14 – **средний рифей**, **рыбачинская структурно-формационная зона**: баргоутная серия (9-11): цыпнаволоцкая (R2ts) и скарбеевская (R2sk) свиты – переслаивание аргиллитов и алевролитов с линзами карбонатных пород (9); зубовская свита – переслаивание сероцветных полимиктовых псаммитов, алевролитов, пелитов (10); майская свита – переслаивание сероцветных кварцевых и полимиктовых конгломератов с полимиктовыми псаммитами (11); **эйновская серия** (12-14): перевальная свита – толща сероцветных полимиктовых псаммитов и гравелитов с редкими прослоями полимиктовых конгломератов, алевролитов и пелитов (12); лонская свита – переслаивание сероцветных полимиктовых конгломератов, гравелитов, псаммитов с редкими прослоями алевролитов и пелитов (13); мотовская свита – сероцветные полимиктовые конглобрекции и гравелиты с прослоями полимиктовых псаммитов с редкими прослоями и линзами алевролитов и пелитов (14); 15 – нерасчлененный комплекс тоналит-гранодиоритов неархейя; 16 – тектонические нарушения: разрывные первого ранга (а-в): надвиги и сбросо-сдвиги (а), сдвиги (б), разломы с неясной кинематикой (в); разрывные второго ранга (з); разломы третьего ранга (д); 17 – скважины: поисковые (а), параметрические (б)

Магматические проявления на п-ове Рыбачий достаточно редки. Наиболее распространены дайки долеритов северо-восточного простирания мощностью 3-5 м в северо-западной части полуострова (рис. 5). Они обычно прослеживаются на протяжении 100-150 м. Возраст проявления магматизма и деформаций пород п-ова Рыбачий следует связывать с байкальским и каледонским орогенезом, что подтверждается и палеомагнитными данными (Torsvik и др., 1993).

Данные о физических и коллекторских свойствах осадочных образований верхнего протерозоя района п-овов Средний и Рыбачий весьма скудны, что, вероятно, связано с малой геолого-геофизической изученностью этой зоны. В настоящее время были получены новые данные в ходе бурения двух параметрических скважин: Пограничной-1 (П-1) и Рыбачинской (расположенных на севере п-ова Средний и перешейке между ним и п-вом Рыбачий), используемые в процессе изучения геологического строения древних осадков и протерозойско-архейских кристаллических пород фундамента и оценки перспектив их нефтегазоносности и металлогении.

Осадочные породы п-ова Средний по петрофизическим свойствам явно отличаются от генетически сходных пород п-ова Рыбачий. Это иллюстрируется результатами измерения плотности 900 образцов (рис. 6) (Коноплева, 1977). Различия объясняются принадлежностью тех и других пород к палеотектонически разным зонам, что обсуждалось выше. Увеличение плотности рыбачинских

песчаников вверх по разрезу объясняется большей мелкозернистостью, увеличением глинистой и уменьшением грубозернистой фракций в отложениях верхней части разреза.

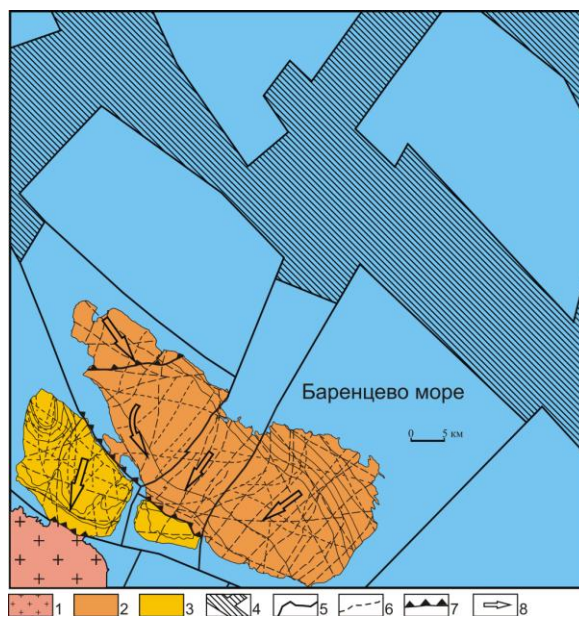


Рис. 5. Кинематическая схема блокового строения прибрежной зоны северо-восточной оконечности Балтийского щита: 1 – нерасчлененный комплекс тоналит-тронджемитов неоархея; 2 – отложения среднего рифея; 3 – отложения верхнего рифея и, возможно, венда; 4 – структуры проседания фундамента Балтийского щита в зоне развития Норвежско-Мезенской рифтовой системы; 5 – границы блоков; 6 – разрывные нарушения; 7 – всбросы, всбросо-надвиги и надвиги; 8 – направления смещения блоков коры

Одним из показателей уплотнения пород, связанного с нормальным прогрессивным катагенезом, может служить содержание в них кристаллизационной и гигроскопической воды. Содержание гигроскопической и кристаллизационной влаги в аргиллитах рифея п-овов Средний и Рыбачий показана на рис. 7.

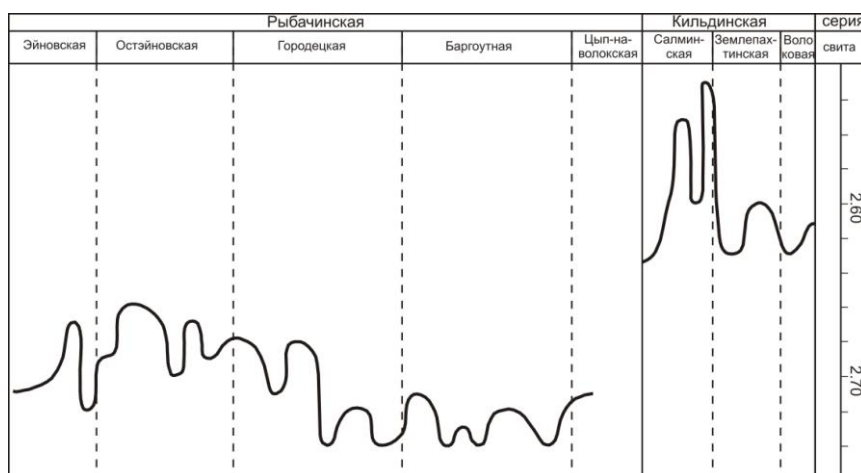


Рис. 6. Средняя плотность песчаников (Коноплева, 1977)

Степень уплотнения пород (рис. 6) оказывает влияние на приводимые ниже показатели пористости и газопроницаемости пород п-овов Средний (верхние три свиты) и Рыбачий (волоковская свита – 5 % гигроскопической воды).

По данным В.А. Тюремнова (1983; 1988), степень уплотнения пород сказывается на приводимых ниже показателях пористости и газопроницаемости пород п-овов Средний и Рыбачий: землепахтинская свита – 4,5 %; волоковская серия – 5 %; эйновская серия – 0,7 %; баргоутная серия – 0,5 %. Некоторое уменьшение пористости пород рыбачинской серии вверх по разрезу (от эйновской до баргоутной серии)

связано с увеличением количества алеврито-глинистого и уменьшением грубозернистого и гравийного материалов. Приведенные данные свидетельствуют о слабой проницаемости пород этих свит.

В связи с изложенным уместно напомнить, что породы Рыбачинского комплекса, находящиеся на одном гипсометрическом уровне с породами п-ова Средний, были выведены к поверхности в результате вертикальных глыбовых движений с глубины не менее 4-5 км и претерпели деформации сжатия.

Изучение петрофизических свойств горных пород скважины Пограничная-1 позволило выделить два типичных слоя, характерных для разрезов платформ. Первый слой характеризуется терригенными слабомагнитными породами, которые в результате интенсивных и длительных процессов литофикации значительно уплотнились. Это привело к тому, что породы приобрели плотность более высокую, чем подобные породы континентального обрамления севера Русской платформы (*Петрофизическая характеристика...*, 1985). Толща изученных терригенных пород характеризуется и более высокими скоростями упругих волн в отличие от пород низов терригенной толщи Тимано-Печорской провинции (*Тюремнов и др.*, 2004). Второй слой разреза (собственно фундамент) представлен плагиогранитами, вмещающими породами для которых являются толщи биотит-амфиболовых и амфибол-биотитовых гнейсов с прослоями амфиболитов, плагиогранитов и долеритов. Плагиограниты по плотности слабо отличаются от вышележащих пород литофицированных осадков, но характеризуются более высокими скоростями упругих волн и чрезвычайно неоднородной магнитной восприимчивостью, изменяющейся в широких пределах. В верхней части разреза пород скважины преобладают плагиограниты и биотитовые гнейсы, которые широко представлены и на поверхности. По мере увеличения глубины в разрезе в большом количестве появляются амфиболиты.

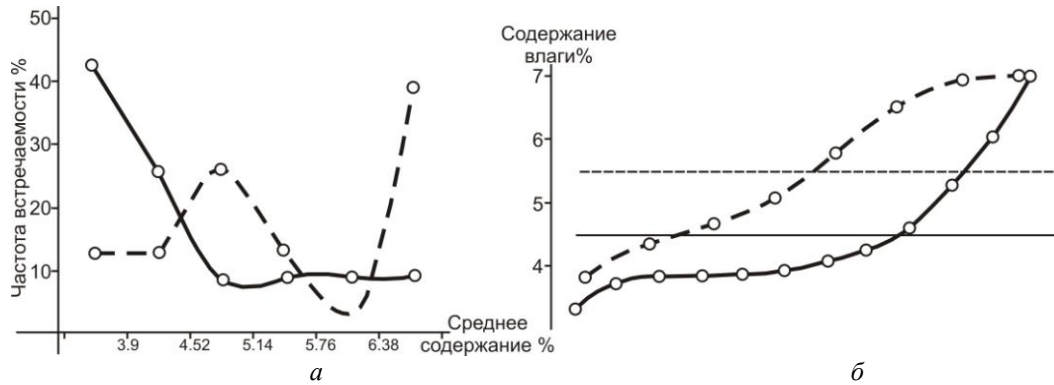


Рис. 7. Содержание гигроскопической и кристаллизационной влаги в аргиллитах (Коноплева, 1977) п-ова Средний и о-ва Кильдин (пунктир) и п-ова Рыбачий (сплошная линия): а – распределение содержаний данных видов влаги; б – сравнение среднеарифметических и ранжированных содержаний гигроскопической и кристаллизационной влаги

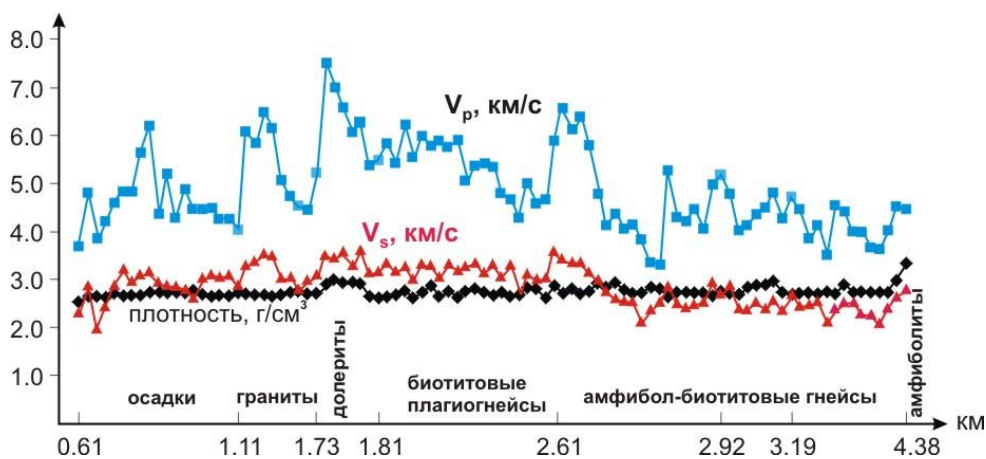


Рис. 8. Сводный петрофизический разрез по скважине П-1: точки – результаты измерений петрофизических параметров образцов пород керна; V_p – скорость продольных сейсмических волн; V_s – скорость поперечных сейсмических волн

Обобщенные материалы исследования упругих и магнитных свойств пород скважины показаны на рис. 8, из которого видно, что выделенные геологические единицы в разрезе отличаются друг от друга по физическим параметрам пород.

Общая петрофизическая характеристика древнего осадочного комплекса пород имеет важное значение для дальнейших исследований геологического строения не только п-ова Средний, но и для нижних горизонтов осадочных пород прилегающей акватории нефтегазоносной Баренцевоморской провинции. Относительно пониженные значения физических параметров скорости (V_p и V_s) в породах пярярвинской свиты объясняются преобладанием в них псаммитовой компоненты по сравнению с вышележащими литотипами пород. Более высокие плотности и значения магнитной восприимчивости этих же пород, вероятно, связаны с пленочными выделениями гидроокислов железа, определяющих видимый цвет пород, а также с наличием сульфидов (пирита, устанавливаемого по геологическим данным) и других рудных минералов (Zn, Pb, Cu). Главным выводом из приведенных материалов является установление структуры изученного терригенного комплекса: верхние свиты преимущественно пелитовые, нижние – псаммитовые, т. е. вполне благоприятных условий для накопления и формирования залежей углеводородов в нижних свитах и, возможно, даже в тектонически ослабленных и диспергированных зонах кристаллического основания. Покрышками таких перспективных толщ могут быть вышележащие породы глинистого и карбонатного составов.

Особо следует отметить, что терригенные вендско-рифейские осадочные породы из скважины П-1 не обнаруживают тесной взаимосвязи между физическими значениями скорости и плотности. Как правило, такие взаимосвязи достаточно выдержаны для многих пород (*Физические свойства...*, 1987) и широко используются при совместной интерпретации сейсмических и гравиметрических материалов, в частности при картировании мощности кристаллического фундамента. В нашем случае к таким приемам интерпретации следует подходить с осторожностью, учитывая большой разброс корреляции между родственными свойствами пород. Возможно, это обусловлено разнородностью их минералогического состава и особенно различием цементирующего вещества осадочных свит нашего региона. Наряду с этими факторами, можно предполагать и влияние глубины залегания пород, как это часто отмечается в аналогичных осадочных условиях (*Петрофизическая характеристика...*, 1985; *Физические свойства...*, 1987).

На п-овах Средний и Рыбачий была проведена газовая аэросъемка, которая позволила обнаружить приповерхностные ореолы эманаций метана и пропана в приземном слое воздуха (рис. 9) (*Гололобов и др.*, 2003). Принципиально важным результатом проведенных съемок явилось то, что в пределах п-ова Средний практически отсутствуют значимые аномалии легких углеводородов. Отдельные повышения концентрации не носят закономерного характера и являются, скорее всего, просто случайными ошибками наблюдений или результатом недоучета каких-либо методических особенностей съемки.

В областях распространения рифейских пород на западе и востоке п-ова Рыбачий отмечается закономерное возрастание содержания легких углеводородов. Здесь региональные изометричные максимумы повышенного содержания метана и пропана, вероятно, связаны с широким развитием углеродсодержащих пород. Территориально эти области достаточно однородны, особенно по содержанию пропана, и полностью повторяют главные черты геологического строения п-ова Рыбачий. Следует также отметить, что обе указанные изометричные аномальные области повышенных содержаний легких углеводородов пространственно приурочены к областям относительного понижения рельефа в береговой зоне запада и востока п-ова Рыбачий. Здесь наблюдаются пологие области пенеплена с отметками 25-100 м на общем фоне высот в диапазоне 150-350 м. В совокупности эти две региональные газовые аномалии показывают повышенное содержание легких углеводородов в материнских породах, обладающих относительно высокой проницаемостью и пониженной устойчивостью к процессам денудации.

Еще одной выразительной особенностью распределения легких углеводородов является линейная аномальная зона, вытянутая в субмеридиональном направлении от южного до северного побережья п-ова Рыбачий и расположенная в его центральной части. Такая зона просматривается в аномалиях распределения и метана (рис. 9), и пропана. Выдержанная ориентированность и пространственная приуроченность к локальной области понижения высотных отметок этой зоны (долина, пересекающая возвышенности к западу и востоку от нее) позволяют предполагать ее связь с тектоникой рифейского осадочного чехла. Таким образом, можно сделать вывод об отсутствии связи с составом пород, поскольку в этой области представлены достаточно однородные геологические комплексы, имеющие преимущественно западную и северо-западную ориентировки.

Почти изометричная локальная аномалия повышения концентрации метана располагается к востоку от описанной выше линейной зоны. Данная аномалия в основной своей части приурочена к относительной депрессии рельефа в прибрежной области юга п-ова Рыбачий и соответствует типичным

породам этой серии. Наблюдается также локальная зона незначительных по амплитуде аномалий распределения метана (рис. 9) и пропана, пространственно совпадающая с субширотной зоной тектонического контакта пород п-овов Средний и Рыбачий. Небольшая по размерам зона, вероятно, является областью вывода на поверхность летучих легких углеводородов, которые присутствуют в рифейских породах осадочного чехла. В ней были пробурены две поисковые скважины, которые вскрыли на глубине 790 м тектонические брекчии с устойчивым долговременным притоком газа.

Таким образом, основываясь на данных анализа аномального распределения легких углеводородов в изучаемом регионе, можно сделать основной вывод о принципиально отличном характере насыщения приповерхностного слоя осадочного чехла метаном и пропаном.

На территории п-ова Рыбачий и на перешейке между ним и п-овом Средний имеются аномальные зоны концентрации легких углеводородов, в то время как на самом п-ове Средний таких зон нет. Учитывая гляциотектонический фактор и характер залегания осадочных комплексов рифея, следует отметить, что максимальные показатели газовых эманацій приурочены к наиболее крупным тектоническим разломам и узлам их пересечения (рис. 4, 5, 9).

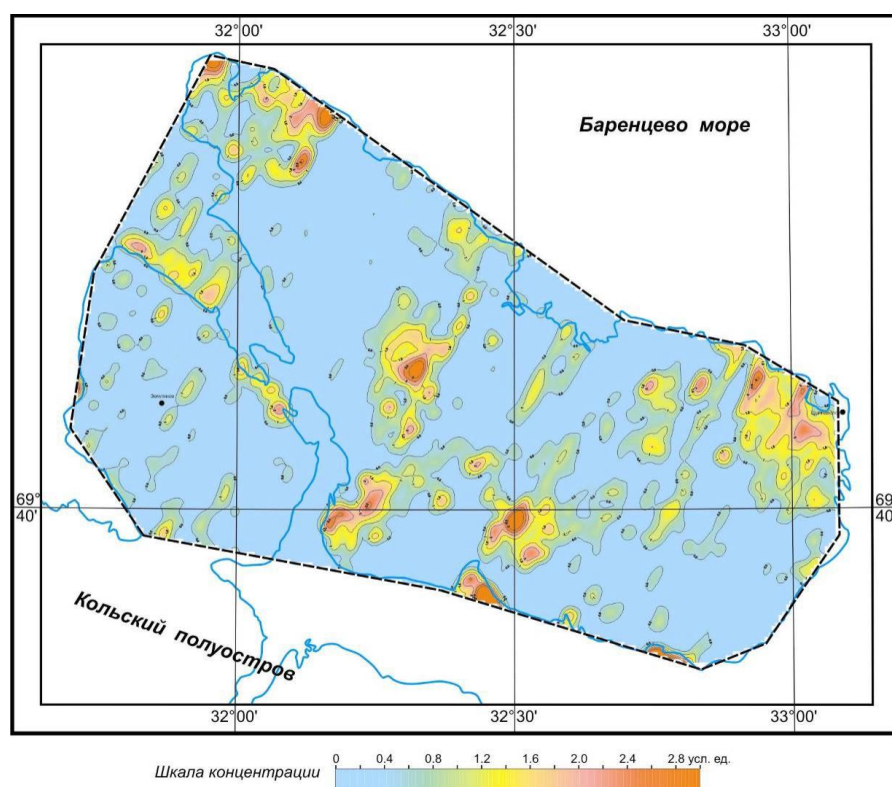


Рис. 9. Карта результатов газовой съемки (метан)

Материалы газовой съемки не дают прямого указания на пространственное и глубинное положение потенциально нефтегазоносных залежей, но, скорее всего, по аналогии с известными месторождениями, на которых регистрируются аномалии легких углеводородов, перспективные участки располагаются вблизи аномальных зон.

Проведенный анализ комплексных геофизических и петрофизических данных показывает существенные отличия в строении геологических образований п-овов Средний и Рыбачий. В геофизических полях эти два объекта представляются принципиально различными блоками, 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 1-1,5 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.

В 2009 и 2010 гг. ООО "Арктические технологии" (Сорохтин и др., 2010) на перешейке между п-овами Средний и Рыбачий были пробурены две поисковые скважины Р-2 (глубиной 800 м) и К-1 (1000 м) (рис. 4). На глубинах 790 и 800 м обе скважины вошли в брекчии с устойчивым притоком газа.

Геохимический анализ проб в них показал, что состав газа многокомпонентен и имеет явный метановый тренд (табл. 1).

Таблица 1. Средние значения компонентного состава пяти проб (скважина Р-2)

Компонент	Среднее значение	
	массы, %	объема, %
Водород	0,001	0,0094
Углекислый газ	0,21	0,082
Азот	7,568	4,702
Гелий	0,074	0,3246
Метан	82,94	89,942
Этан	7,99	4,622
Пропан	0,256	0,1
И-бутан	0,042	0,015
Н-бутан	0,136	0,04
И-пентан	0,152	0,038
Н-пентан	0,128	0,032
Гексаны	0,206	0,048
Гептаны	0,21	0,036
Октаны	0,05	0,01

При интерпретации полученных данных использовались накопленные сведения о распространенности изотопов углерода в биогенном метане, в месторождениях нефти и газа различных регионов мира. Углерод биогенного (биохимического, болотного) метана очень легкий и ему свойственно крайне низкое значение $\delta^{13}\text{C}$ (обычно от -90 до -70 ‰) (Хёфс, 1983 и др.). В качестве верхнего предела для такого типа метана можно назвать значение $\delta^{13}\text{C} = -65$ ‰. Углерод CO_2 , возникающий в результате биогенного окисления захороненного органического вещества, по-видимому, характеризуется значениями $\delta^{13}\text{C}$, составляющими от -30 до -15 ‰.

Данные об изотопном составе и распространенности компонентов указывают на то, что возможные взаимные превращения С-содержащих газов не могли заметно исказить величину $\delta^{13}\text{C}$ метана ($-53,4$ ‰). Она отвечает значению $\delta^{13}\text{C}$ катагенного (термогенного) метана, присутствующего в залежах (табл. 2). По методу, представленному в работе (Прасолов, 1990), температура генерации метана оценивается в ~ 110 °С. Температура и соответствующая ей глубина в действительности могли быть большими, если к глубинному метану примешался биогенный, что снизило осредненное значение $\delta^{13}\text{C}$. Примесный газ (этан) аномально изотопно легкий, а углекислый газ в большей части является продуктом биогенного окисления органических веществ.

Таблица 2. Изотопный состав углерода газов (скважина Р-2)

Вид измерения	$\delta^{13}\text{C}$, ‰			Соотношение (оценка)	
	CH_4	C_2H_6	CO_2	$\text{C}_2\text{H}_6/\text{CH}_4$	CO_2/CH_4
Основное	$-53,4$	$-49,7$	$-26,7$	$\sim 0,005$	$\sim 0,01$
Повторное	$-53,3$	$-49,3$	$-26,1$	–	–
Среднее значение	$-53,4$	$-49,5$	$-26,4$	–	–

Полученные данные об изотопном составе углерода из газа скважин, видимо, указывают на смешение трех генетических типов. С одной стороны, имеется низкотемпературный компонент биогенного происхождения, а с другой – высокотемпературный глубинный газ абиогенной природы. Возможно, что в захороненных на больших глубинах осадочных толщах пассивной окраины континента в неопротерозе (рифее-венде) под действием литостатического давления могли формироваться залежи нефти и газа. Позже, сначала в каледонское, а затем в герцинское время, на стыке древней Русской и относительно молодой Баренцевоморской плитой была сформирована Норвежско-Мезенская система рифтов. Благодаря этому под толщей осадков возникли условия гидратации ультраосновных пород раздвигающейся литосферы и генерации метана абиогенного типа. В условиях повышенных температурных градиентов неизбежно возникали флюидопотоки, промывающие толщу осадков и переносящие УВ в верхние слои разреза. Кроме этого, в зоне устойчивости газогидратов могли быть созданы благоприятные условия для их генерации. Исходя из анализа третьего генетического типа УВ, следует отметить, что исследуемый изотопный состав углерода экстремально облегчен. По-видимому,

этому способствовал тот факт, что масса метанпоглощающих бактерий в рифее была значительно более высокой (например, благодаря строматолитам), чем в настоящее время (Сорохтин, 2007; Сорохтин и др., 2010). Фракционирование изотопов углерода всегда приводило к облегчению изотопного состава метана и, следовательно, к облегчению состава углерода органического вещества $C_{орг}$ выросших на этом метане бактерий. Указанные данные убеждают нас в том, что, наряду с традиционными источниками УВ-сырья, Тимано-Варангерский нефтегазоносный бассейн богат залежами сланцевого газа и, возможно, сланцевой нефти. Нахождение в крупных зонах трещиноватости устойчивых притоков газа разного генезиса, предположительно, указывает на механизм вскрытия и дегазации ими микропористой структуры осадочного чехла рифейских отложений. В результате запечатанные пузырьки газа высвобождаются и примешиваются к общему потоку, идущему из нижних слоев осадочной толщи. Данный факт представляется нам крайне важным и позволяет оценить влияние рассеянного сланцевого газа на общий нефтегазовый потенциал структурно-вещественных комплексов рифея.

3. Выводы

Проведенные исследования показали, что полого залегающие и слабометаморфизованные осадочные толщи северо-западной части Тимано-Варангерского пояса могут обладать значительным нефтегазоносным потенциалом традиционного и нетрадиционного типа. Изучение физических свойств горных пород разреза выявило наличие благоприятных условий для формирования залежей УВ и прежде всего скоплений сланцевого газа. Следует отметить, что при бурении параметрических скважин Пограничная-1 (5202 м) и Рыбачинская (3001 м) были вскрыты разрезы только двух из трех структурно-формационных зон, которые не дали полного представления о перспективах остальной территории по поиску УВ-сырья. Кроме того, они были пробурены в пограничной зоне и не могли подсесть продуктивные горизонты, т.к. находились в зоне развития крупного разлома (рис. 4, 5).

Таким образом, прогнозирование экономического потенциала областей, зон и районов локализации промышленно значимых скоплений углеводородного сырья в пределах нефтегазоносных бассейнов является крайне важной задачей при осуществлении поисковых работ в процессе наращивания геолого-геофизической изученности территорий.

Литература

- Raaben M.E., Lubtsov V.V., Predovsky A.A.** Correlation of stromatolitic formations of northern Norway (Finnmark) and northwestern Russia (Kildin Island and Kanin Peninsula). *Nor. Geol. Unders. Special Publ., Trondheim*, p. 233-246, 1995.
- 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, Special issue*, v. 21, p. 119-135, 2012.
- Torsvik T., Roberts D., Siedlecka A.** Paleomagnetic data from sedimentary rocks and dolerite dykes, Kildin Island, Rybachi, Sredni and Varanger Peninsulas, NW Russia and NE Norway. *Norwegian-Russian Collaboration Programme "North Area", 1st International Barents Symposium, 21-24 October, Kirkenes, Norway, Abstracts*, 1993.
- Гололобов Ю.Н.** (отв. исп.) 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). *СПб., ФГУ НПП "Геологоразведка"*, 85 с., 2003.
- Дмитриевский А.Н., Белонин М.Д.** Перспективы освоения нефтегазовых ресурсов Российского шельфа. *Природа*, № 9, с. 6-15, 2004.
- Заможняя Н.Г. и др.** Регионально-зональные сейсморазведочные работы МОВ-ОГТ на п-ове Рыбачий в комплексе с высокоточной гравиметрией с целью изучения геологического строения и перспектив нефтегазоносности рифейских отложений. *Мурманск, Фонды Мурмангеолкома*, 214 с., 2001.
- Коноплева Н.Г.** О стратиграфии рифейских отложений полуострова Рыбачий. Новые данные по геологии и стратиграфии Северо-Запада РСФСР. *Тр. Министерства геологии РСФСР*, вып. 6, с. 62-80, 1977.
- Милановский Е.Е.** Геология России и ближнего зарубежья (Северной Евразии). *М., МГУ*, 448 с., 1996.
- Негруца В.З., Басалаев А.А., Чикирёв И.В.** Баренцевоморский фосфоритовый бассейн. *Апатиты, КНЦ РАН*, 119 с., 1993.
- Петрофизическая характеристика осадочного покрова нефтегазоносных провинций СССР. Справочник. *Под ред. Г.М. Авчан, М.Л. Озерской. М., Недра*, 193 с., 1985.
- Прасолов Э.М.** Изотопная геохимия и происхождение природных газов. *Л., Недра*, 284 с., 1990.
- Сейсмогеологическая модель литосферы Северной Европы: Лапландско-Печенгский район. *Отв. ред. Н.В. Шаров. Апатиты, КНЦ РАН*, 225 с., 1997.

- Симонов А.П., Губерман Д.М., Яковлев Ю.Н. и др.** Рифейская нефть полуострова Рыбачий: миф или ключ к принципиально новому направлению нефтегазопроисковых работ на шельфе Баренцева моря? *Вестник МГТУ*, т. 1, № 2, с. 121-140, 1998.
- Сорохтин Н.О., Козлов Н.Е., Куликов Н.В., Глазнев В.Н., Чикирёв И.В.** Нефтегазоносность Баренцево-Карского шельфа России и прогнозные критерии поиска УВ сырья в прибрежной зоне Кольского региона. *Вестник КНИЦ РАН*, № 1, с. 66-82, 2010.
- Сорохтин Н.О., Козлов Н.Е., Чикирёв И.В., Куликов Н.В., Глазнев В.Н.** Эволюция северо-западной части Тимано-Варангерского нефтегазонасного бассейна. *Вестник КНИЦ РАН*, № 3, с. 3-20, 2011.
- Сорохтин О.Г.** Жизнь Земли. М. – Ижевск, НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика"; Институт компьютерных исследований, 452 с., 2007.
- Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.** Глобальная эволюция Земли. М., МГУ, 446 с., 1991.
- Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.** Развитие Земли. М., МГУ, 506 с., 2002.
- Тюремнов В.А.** Комплексное петрофизическое изучение опорных геолого-геофизических разрезов Арктического шельфа. *Закл. отч. по теме 2851, фонды КНИЦ АН СССР, Апатиты*, 96 с., 1988.
- Тюремнов В.А.** Унифицированная система эталонных петрофизических характеристик горных пород шельфа Баренцева и Карского морей (анализ и изучение петрофизических характеристик Баренцевоморского шельфа). *Пром. отч. по теме 4-82-2890, 4-82-2891, фонды КФ АН СССР, Апатиты*, 50 с., 1983.
- Тюремнов В.А., Шипилов Э.В., Осипенко Л.Г., Глазнев В.Н.** Геолого-петрофизическая характеристика пород фанерозоя островного и континентального обрамления Баренцевской шельфовой плиты. *Мат. конф. "Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов". Архангельск, ИЭПС УрО РАН*, т. 2, с. 304-307, 2004.
- Физические свойства горных пород Баренцевоморского региона. *Под ред. И.С. Грамберга. Апатиты, КФ АН СССР*, 82 с., 1987.
- Хаин В.Е.** Тектоника континентов и океанов (год 2000). М., *Научный мир*, 606 с., 2001.
- Хёфс Й.** Геохимия стабильных изотопов. М., *Мир*, 200 с., 1983.
- Чикирёв И.В.** Верхнедокембрийские фосфоритсодержащие отложения Кольского полуострова. *Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук, М., МГУ*, 18 с., 1995.
- Чумаков Н.М.** Докембрийские тиллиты и тиллоиды (проблемы докембрийских оледенений). *Тр. ГИН, М., Наука*, вып. 308, 202 с., 1978.

References

- Raaben M.E., Lubtsov V.V., Predovsky A.A.** Correlation of stromatolitic formations of northern Norway (Finnmark) and northwestern Russia (Kildin Island and Kanin Peninsula). *Nor. Geol. Unders. Special Publ., Trondheim*, p. 233-246, 1995.
- 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, Special issue*, v. 21, p. 119-135, 2012.
- Torsvik T., Roberts D., Siedlecka A.** Paleomagnetic data from sedimentary rocks and dolerite dykes, Kildin Island, Rybachi, Sredni and Varanger Peninsulas, NW Russia and NE Norway. *Norwegian-Russian Collaboration Programme "North Area", 1st Intern. Barents Symposium, 21-24 October, Kirkenes, Norway, Abstracts*, 1993.
- Gololobov Yu.N.** (otv. isp.) Otchet po kompleksnoy aerogeofizicheskoy (magnitnoy, gamma-spektrometricheskoy, gazovoy na metan i propan) s'emke masshtaba 1:50000 na territorii Murmanskoy oblasti (rayon p-ovov Sredniy i Rybachi) [Report on integrated airborne geophysical (magnetic, gamma spectrometry, gas on methane and propane) shooting scale 1:50000 in the Murmansk region (the Middle and Rybachi Peninsulas)]. SPb., FGU NPP "Geologorazvedka", 85 p., 2003.
- Dmitrievskiy A.N., Belonin M.D.** Perspektivy osvoeniya neftegazovyh resursov Rossiyskogo shelfa [Prospects for oil and gas resources of the Russian shelf]. *Priroda*, N 9, p. 6-15, 2004.
- Zamozhnyaya N.G. i dr.** Regionalno-zonalnye seysmorazvedochnye raboty MOV-OGT na p-ove Rybachi v komplekse s vysokotochnoy gravimetriy s tselyu izucheniya geologicheskogo stroeniya i perspektiv neftegazonosnosti rifeyskih otlozheniy [Regionally zoned seismic work MOU-CMP on the Rybachi Peninsula in combination with high-precision gravimetry for studying the geological structure and petroleum potential of Riphean deposits]. *Murmansk, Fondy Murmangeolkomu*, 214 p., 2001.
- Konopleva N.G.** O stratigrafii rifeyskih otlozheniy poluostrova Rybachi. *Novye dannye po geologii i stratigrafii Severo-Zapada RSFSR* [On stratigraphy of Riphean deposits of the Rybachi Peninsula. New

- data on geology and stratigraphy of the North-West of the RSFSR]. Tr. Ministerstva geologii RSFSR, vyp. 6, p. 62-80, 1977.
- Milanovskiy E.E.** Geologiya Rossii i blizhnego zarubezhya (Severnoy Evrazii) [Geology in Russia and abroad (Northern Eurasia)]. M., MGU, 448 p., 1996.
- Negrutsa V.Z., Basalaev A.A., Chikirev I.V.** Barentsevomorskiy fosforitovyy basseyn [The Barents Sea phosphorite basin]. Apatity, KNTs RAN, 119 p., 1993.
- Petrofizicheskaya karakteristika osadochnogo pokrova neftegazonosnykh provintsiy SSSR [Petrophysical characteristics of the sedimentary cover of oil and gas provinces of the USSR]. Spravochnik. Pod red. G.M. Avchan, M.L. Ozerskoy. M., Nedra, 193 p., 1985.
- Prasolov E.M.** Izotopnaya geohimiya i proishozhdenie prirodnykh gazov [Isotope geochemistry and origin of natural gases]. L., Nedra, 284 p., 1990.
- Seismogeologicheskaya model litosfery Severnoy Evropy: Laplandsko-Pechengskiy rayon [Seismogeological model of the Northern Europe lithosphere: Lapland-Pechenga]. Otv. red. N.V. Sharov. Apatity, KNTs RAN, 225 p., 1997.
- Simonov A.P., Guberman D.M., Yakovlev Yu.N. i dr.** Rifeyskaya neft poluostrova Rybachiy: mif ili klyuch k printsipialno novomu napravleniyu neftegazoposkovykh rabot na shelfe Barentseva morya? [Riphean oil of the Rybachy Peninsula: Myth or key to a fundamentally new direction of oil and gas exploration in the Barents Sea?] Vestnik MGTU, t. 1, N 2, p. 121-140, 1998.
- Sorohtin N.O., Kozlov N.E., Kulikov N.V., Glaznev V.N., Chikirev I.V.** Nefttegazonosnost Barentsevo-Karskogo shelfa Rossii i prognoznye kriterii poiska UV syrya v pribrezhnoy zone Kolskogo regiona [Petroleum potential of the Barents-Kara shelf of Russia and forecast criteria of hydrocarbon feedstock search in the coastal zone of the Kola region]. Vestnik KNTs RAN, N 1, p. 66-82, 2010.
- Sorohtin N.O., Kozlov N.E., Chikirev I.V., Kulikov N.V., Glaznev V.N.** Evolyutsiya severo-zapadnoy chasti Timano-Varangerskogo neftegazonosnogo basseyna [Evolution of the northwestern part of the Timan-Varanger oil basin]. Vestnik KNTs RAN, N 3, p. 3-20, 2011.
- Sorohtin O.G.** Zhizn Zemli [Life of the Earth]. M. – Izhevsk, NITs "Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika"; Institut kompyuternykh issledovaniy, 452 p., 2007.
- Sorohtin O.G., Ushakov S.A.** Globalnaya evolyutsiya Zemli [Global evolution of the Earth]. M., MGU, 446 p., 1991.
- Sorohtin O.G., Ushakov S.A.** Razvitie Zemli [Evolution of the Earth]. M., MGU, 506 p., 2002.
- Tyuremnov V.A.** Kompleksnoe petrofizicheskoe izuchenie opornykh geologo-geofizicheskikh razrezov Arkticheskogo shelfa [Integrated petrophysical study of supporting geological-geophysical sections of the Arctic shelf]. Zakl. otch. po teme 2851, fondy KNTs AN SSSR, Apatity, 96 p., 1988.
- Tyuremnov V.A.** Unifitsirovannaya sistema etalonnnykh petrofizicheskikh karakteristik gornyykh porod shelfa Barentseva i Karskogo morey (analiz i izuchenie petrofizicheskikh karakteristik Barentsevomorskogo shelfa) [The unified system of reference petrophysical properties of rocks of the Barents and Kara Seas (analysis and study of the petrophysical characteristics of the Barents Sea shelf)]. Prom. otch. po teme 4-82-2890, 4-82-2891, fondy KF AN SSSR, Apatity, 50 p., 1983.
- Tyuremnov V.A., Shipilov E.V., Osipenko L.G., Glaznev V.N.** Geologo-petrofizicheskaya karakteristika porod fanerozoaya ostrovnogo i kontinentalnogo obramleniya Barentsevskoy shelfovoy plity [Geological and petrophysical characterization of the Phanerozoic rocks of the island and continental frame of the Barents shelf plate]. Mat. konf. "Geodinamika i geologicheskie izmeneniya v okruzhayushey srede severnykh regionov". Arhangelsk, IEPS UrO RAN, t. 2, p. 304-307, 2004.
- Fizicheskie svoystva gornyykh porod Barentsevomorskogo regiona [Physical properties of rocks of the Barents Sea region]. Pod red. I.S. Gramberga. Apatity, KF AN SSSR, 82 p., 1987.
- Hain V.E.** Tektonika kontinentov i okeanov (god 2000) [Tectonics of continents and oceans (2000)]. M., Nauchnyy mir, 606 p., 2001.
- Hyofs Y.** Geohimiya stabilnykh izotopov [Geochemistry of stable isotopes]. M., Mir, 200 p., 1983.
- Chikiryov I.V.** Verhnedokembriyskie fosforitsoderzhaschie otlozheniya Kolskogo poluostrova [Upper Precambrian phosphorite-containing deposits of the Kola Peninsula]. Avtoref. dis. ... kand. geol.-min. nauk, M., MGU, 18 p., 1995.
- Chumakov N.M.** Dokembriyskie tillity i tilloidy (problemy dokembriyskikh oledeneniy) [Precambrian tillites and tilloids (problems of Precambrian glaciations)]. Tr. GIN, M., Nauka, vyp. 308, 202 p., 1978.

Информация об авторах

Сорохтин Николай Олегович – Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотрудник; Геологический институт КНЦ РАН; Апатитский филиал МГТУ, кафедра геологии и полезных ископаемых, e-mail: nsorokhtin@ocean.ru

Sorokhtin N.O. – P.P. Shishov Institute of Oceanology of RAS, Dr of Geol. & Miner. Sci., Leading Researcher; Geological Institute KSC RAS; MSTU Apatity Branch, Geology and Minerals Department, e-mail: nsorokhtin@ocean.ru

Лобковский Леопольд Исаевич – Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, зам. директора, д-р физ.-мат. наук, член-корреспондент РАН, e-mail: llobkovsky@ocean.ru

Lobkovsky L.I. – P.P. Shishov Institute of Oceanology of RAS, Deputy Director, Dr of Phys.-Math. Sci., Corresponding Member of RAS, e-mail: llobkovsky@ocean.ru

Козлов Николай Евгеньевич – Геологический институт КНЦ РАН, д-р геол.-мин. наук, зав. лабораторией; директор Апатитского филиала МГТУ, кафедра геологии и полезных ископаемых, профессор, e-mail: kozlovne@afmgtu.apatity.ru

Kozlov N.E. – Geological Institute KSC RAS, Dr of Geol. & Miner. Sci., Head of Laboratory; Director of MSTU Apatity Branch, Geology and Minerals Department, Professor, e-mail: kozlovne@afmgtu.apatity.ru

Чикирёв Игорь Владимирович – Геологический институт КНЦ РАН, науч. сотрудник, канд. геол.-мин. наук; Апатитский филиал МГТУ, кафедра геологии и полезных ископаемых, доцент, e-mail: chikireviv@afmgtu.apatity.ru

Chikiryov I.V. – Geological Institute KSC RAS, Researcher, Cand. of Geol. & Miner. Sci.; Geology and Minerals Department of MSTU Apatity Branch, Associate Professor, e-mail: chikireviv@afmgtu.apatity.ru

Глазнев Виктор Николаевич – Геологический факультет Воронежского государственного университета, зав. кафедрой геофизики, д-р физ.-мат. наук, профессор, e-mail: glaznev@geol.vsu.ru

Glaznev V.N. – Geological Faculty of Voronezh State University, Head of Geophysics Department, Dr of Phys.-Math. Sci., Professor, e-mail: glaznev@geol.vsu.ru

Никифоров Сергей Львович – Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, зав. лабораторией, д-р геогр. наук, e-mail: nikiforov@ocean.ru

Nikiforov S.L. – P.P. Shishov Institute of Oceanology of RAS, Head of Laboratory, Dr of Geogr. Sci., e-mail: nikiforov@ocean.ru

Новиков Георгий Валентинович – Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, гл. науч. сотрудник, д-р геол.-мин. наук, e-mail: novibog@ocean.ru

Novikov G.V. – P.P. Shishov Institute of Oceanology of RAS, Leading Researcher, Dr of Geol. & Miner. Sci., e-mail: novibog@ocean.ru