DOI: 10.24412/2076-6785-2022-6-12-16

УДК 553.98 I Научная статья

Нетрадиционные (вулканогенные) коллекторы нефти и газа

Юрова М.П.
Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия
mpyurova@mail.ru

Аннотация
В статье очередной раз привлекается внимание к глубокозалегающим залежам пермотриасового возраста, открытым в северо-восточной части Западной Сибири (в том числе на полуострове Ямал). Особенности этих залежей: большие глубины (>5 км), близкие к условиям формирования вулканогенных залежей Хапчагайского мегавала Вилюйской синеклизы Восточной Сибири. Приводятся методы изучения вулканогенных коллекторов, особенности вскрытия вулканогенных залежей, дальнейшие направления поисков.

Материалы и методы
Материалы: публикации в журналах, книгах. Методы: метод аналогии (процесс формирования структур и залежей УВ: термобарические условия, глубины, возраст).

Ключевые слова
Восточная Сибирь, Хапчагайский мегавал, вулканогенные залежи, глинистые коллекторы, Западная Сибирь, северо-восток Западной Сибири, Енисей-Хатангский прогиб, методы изучения, рекомендации по вскрытию залежей, девон-карбон, Кемпендяйская впадина

Для цитирования
Юрова М.П. Нетрадиционные (вулканогенные) коллекторы нефти и газа // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 6. С. 12–16.
DOI: 10.24412/2076-6785-2022-6-12-16

Поступила в редакцию: 06.09.2022

UDC 553.98 I Original Paper

Unconventional (volcanogenic) oil and gas reservoirs

Yurova M.P.
Oil and gas research institute RAS, Moscow, Russia
mpyurova@mail.ru

Abstract
The article once again draws attention to the deep-lying deposits of Permo-Triassic age discovered in the northeastern part of Western Siberia, including the Yamal Peninsula. Features of these deposits include large depths (more than 5 kilometers), as well as close conditions of formation of volcanogenic deposits of the Khapchagai megaswell of the Vilyui syneclise of Eastern Siberia. Methodology of volcanogenic reserves, features of the opening of volcanogenic deposits, subsequent directions of searches are given.

Materials and methods
Materials: publications in magazines, books. Methods: Analogy approach (process of formation of structures and deposits of hydrocarbons: thermobaric conditions, depths, age).

Keywords
Eastern Siberia, Khapchagai megaswell, volcanogenic deposits, shaly reservoirs, Western Siberia, northeast Western Siberia, Yenisei-Khatanga trough, study methods, recommendations for opening deposits, Devonian-Carboniferous, Kempendyai depression

For citation
Yurova M.P. Unconventional (volcanogenic) oil and gas reservoirs. Exposition Oil Gas, 2022, issue 6, P. 12–16. (In Russ).
DOI: 10.24412/2076-6785-2022-6-12-16

Received: 06.09.2022

В связи с увеличением роли Восточной Сибири как потенциально значимого нефтегазоносного региона страны в ближайшей перспективе встает вопрос не только о расширении геологоразведочных работ отдаленного края, но и в первую очередь о рациональном использовании ранее открытых (60–70-е гг. прошлого столетия) газонефтяных месторождений. Наиболее изученным и промышленно-значимым районом Восточно-Сибирского региона является Республика Саха (Якутия), широко известная не только золотом и алмазами, но и богатейшими залежами углеводородов (УВ). Речь идет о газовых и газоконденсатных месторождениях Хапчагайского мегавала Вилюйской синеклизы, открытых в 60–70-х гг. прошлого столетия, используемых для местных нужд. В настоящее время построена ветка трансконтинентального нефтегазопровода Восточная Сибирь — Тихий океан (ВСТО), проходящая в том числе и через юго-западную территорию Якутии, что существенно повысило ее значимость, особенно

при переориентации внешней политики на юго-восточное направление (Китай, Индию и т.д.). Сложность освоения рассматриваемых месторождений заключается в том, что запасы углеводородов в них приурочены к нетрадиционным коллекторам — вулканитам, отличающимся от традиционных, терригенных (песчаных) коллекторов значительной примесью вулканогенного материала, который меняет фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов [1].

Традиционный подход к ним как нормально-осадочным образованиям порождает ряд неразрешимых вопросов. Известно, например, что с помощью кривой собственной поляризации (ПС) однозначное выделение коллекторов в нижнетриасовых отложениях затруднено. Промышленные притоки газа получены на Соболох-Неджелинском месторождении Хапчагая из плотных межпластий [1], в связи с этим ставится под сомнение пластовая модель строения залежей Хапчагая. Трудно объяснить также значительные притоки газа низкими коллекторскими свойствами пород (Кп = 1,48–6 %, Кпр = $0{,}01\times10^{-15}$ м^2) в подсчете запасов. Эти противоречия становятся разрешимыми, если учитывать специфику вулканогенных коллекторов, а именно: резкую литологическую изменчивость и неоднородность пород по площади и разрезу, интенсивные вторичные преобразования пород-коллекторов, связь преимущественного развития определенного типа емкостного пространства с конкретным генотипом, наличие проводящих каналов из древних подстилающих толщ, связанных с вулканической деятельностью в индское и оленекское время нижнего триаса, специфические ловушки (вулканические палеоострова) [1]. Отложения вулканогенных пород пермотриасового возраста, которые являются продуктивными, представлены эффузивными вулканокластическими и вулканоосадочными образованиями, промышленно-продуктивными в пределах Вилюйской синеклизы. Как показали детальные исследования вулканитов Вилюйской синеклизы, содержание вулканогенного материала в нижнетриасовых отложениях колеблется от 70 до 100 %. Такая неустойчивая, неравновесная в физико-химическом отношении система на всех этапах существования является ареной интенсивных вторичных процессов. Они начинаются буквально с момента извержения вулкана в воздушную или водную среду. Близкий исходный состав и физико-химические условия осадконакопления определили сходные комплексы глинистых минералов в разновозрастных отложениях [1].

Анализируя материалы глубокого бурения пермотриасовых отложений Хапчагайского мегавала Вилюйской синеклизы, удалось не только установить типы коллекторов пермотриасового возраста, но и построить принципиально иные (по сравнению с первоначальными) модели залежей УВ, обусловленные вулканогенными процессами, происходящими в Вилюйской синеклизе Предпатомского прогиба в пермотриасовое время [1, 2].

Наш подход существенно отличен от первоначальных представлений о коллекторах в подсчете запасов. В основу нашего подхода было принято изучение самого большого газового месторождения Хапчагая — Соболох-Неджелинского, приуроченного (с нашей точки зрения) к зоне извержения вулкана в начале пермско-триасового периода, который является самым значительным в палеозое [2].

Для обоснования рационального комплекса исследований вулканогенных пород-коллекторов было проведено детальное изучение эталонных разрезов неджелинской и мономской свит по керну скважин, пробуренных на Соболох-Неджелинской площади Хапчагайского мегавала и прилегающей территории, где эти отложения залегают на глубинах свыше 4 000 м.

Литологические исследования включали: микроскопическое изучение образцов керна в шлифах, пропитанных бакелитом, изучение естественных сколов пород, пропитанных полимером, на РЭМе (растровый электронный микроскоп), ртутную порометрию, химический и рентгеноструктурный анализы, а также комплекс петрофизических исследований [1]. Полученные данные увязывались с данными опробования и промыслово-геофизическими исследованиями ГИС на скважинах. Было установлено, что в пермотриасовом разрезе Хапчагая присутствуют следующие типы пород:

- эффузивные;
- вулканокластические;
- вулканокласто-осадочные.

Наша точка зрения базировалась на представлениях геологов СНИИГГИМСа (Новосибирск), которые изучали различные аспекты тектоники, магматизма и нефтегазоносности Сибирской платформы [2–4]. Анализ данных по палеотемпературе в конце нижнего триаса — подошвы верхнепалеозойских отложений показал, что породы находились в главной зоне нефтегазообразования. Палеотемпература в приосевых зонах Енисей-Хатангского прогиба и в прискладчатых частях Вилюйской синеклизы достигала 90–100°[3]. Повсеместное развитие глинистых образований оленекского и индского ярусов нижнего триаса позволяет предположить наличие достаточно надежного глинистого экрана для скопления УВ в ловушках раннетриасового времени [3].

К концу раннеюрской эпохи были сформированы положительные структуры во внутренних частях Вилюйской синеклизы, а также в западной части Енисей-Хатангского прогиба. Следы этого этапа наблюдаются в Енисей-Хатангском прогибе, на Хапчагайском мегавале и не только [3, 4]. Особенности тектонического развития Вилюйской синеклизы на территории мезозойских прогибов обусловили накопление в осадочном чехле мощных слабопроницаемых зон, имеющих малую теплопроводность и способствующих экранированию УВ залежей [3, 4]. Было установлено, что основной процесс изменения вулканогенного материала

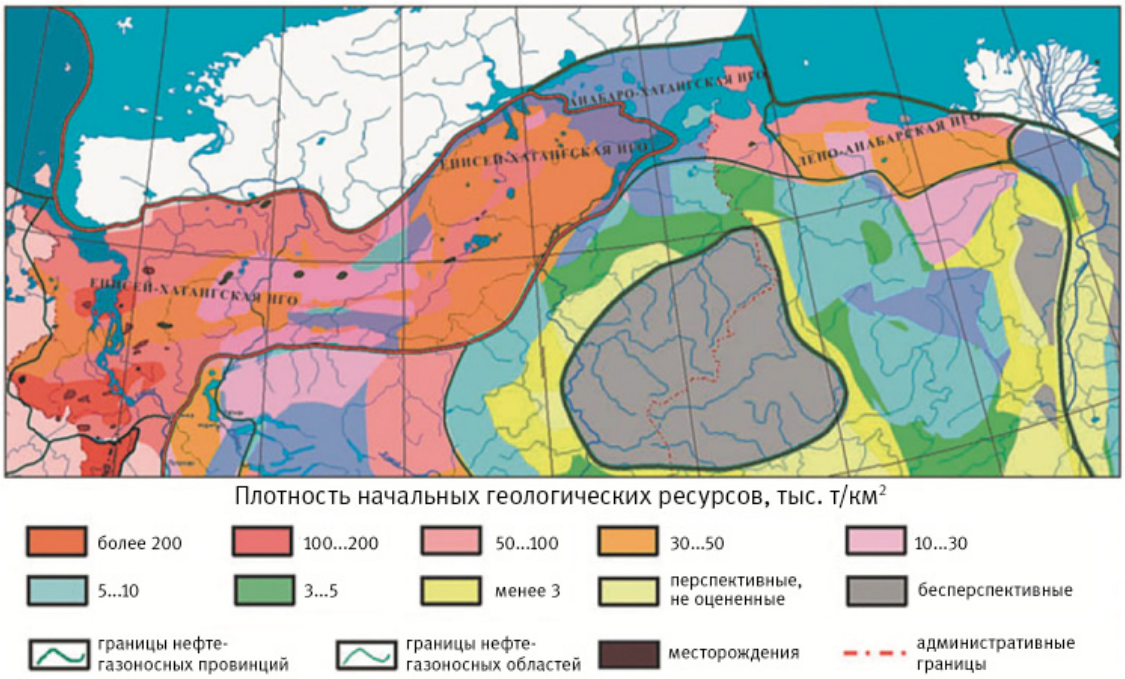

Рис. 1. Выкопировка из схемы нефтегазоносности Сибирской платформы [6]
Fig. 1. A copy from the oil and gas potential scheme of the Siberian platform [6]

пелитовой размерности — глинизация, мелко- и среднеобломочной — хлоритизация, цеолитизация и карбонатизация. Состав исходного вулканогенного материала, физико-химические условия осадконакопления определили сходство комплексов глинистых минералов разновозрастных отложений [1]. Так, в нижнетриасовых отложениях ассоциация глинистых минералов во всех группах пород идентична и представлена следующими эволюционными рядами: Na → монтмориллонит → смешанослойные и т.д. [1].

Изучение вулканогенных пермотриасовых пород проводилось с 1976 по 1991 г. в лаборатории КНИЛВостСиб Российского

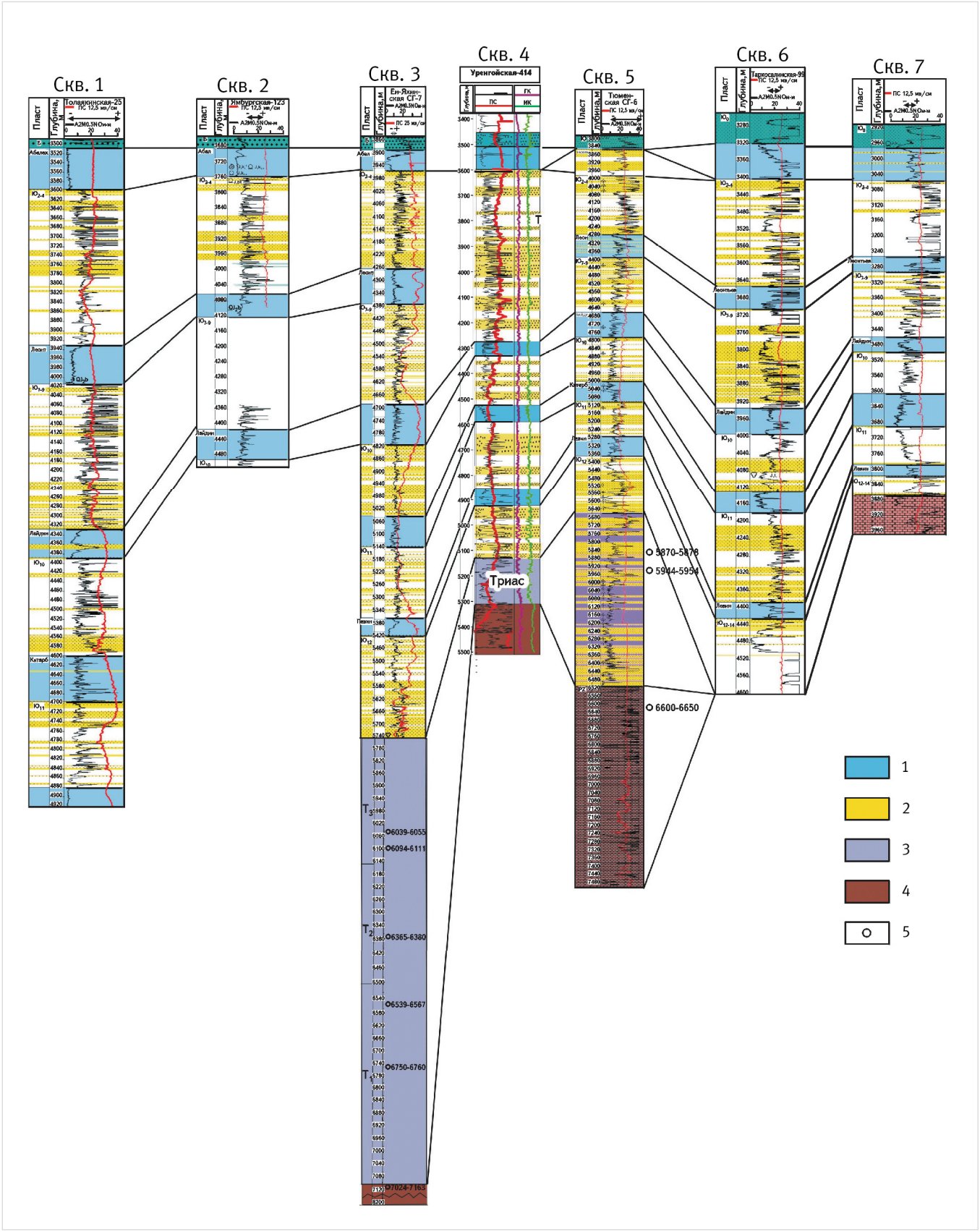

Рис. 2. Корреляция по линии профиля А-А1 (составлено с использованием материалов ОАО «СибНАЦ», 2011) [7]
1 — непроницаемые глинистые отложения (флюидоупоры); 2 — песчано-алевритистые отложения (коллекторы); 3 — отложения триаса (Т); 4 — отложения палеозоя (PZ); 5 — притоки газа
Fig. 2. Correlation along the A-A1 profile line (compiled using materials from SibNAC, 2011) [7]
1 – impermeable clay deposits (fluid seal); 2 – sandy-silt deposits (reservoirs); 3 – triassic deposits (T); 4 – paleozoic deposits (PZ); 5 – gas inflows

государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина (РГУ нефти и газа), а затем продолжено в ИПНГ РАН (научный руководитель академик РАН А.Н. Дмитриевский).

По материалам изучения вулканитов была издана монография [1]. Издание вызвало значительный интерес.

Как в осадочных, так и в вулканогенных породах присутствие коллекторов связано с процессами трещинообразования на больших глубинах, а также с активизацией гидротермальных процессов, смешивания глубинных высокоминерализованных растворов с пластовыми водами верхнепермского и нижнетриасового комплекса. Изучение двух типов вод (верхнепермских и нижнетриасовых) подтверждает вертикальную сообщаемость разрезов, подтверждающуюся увеличением карбонатности глубинных вод [5].

В свете многочисленных примеров присутствия пермотриасовых пород на севере Сибирской платформы, северо-востоке Западной Сибири, включая полуостров Ямал и Карское море [6–8] (рис. 1–3), считаем необходимым еще раз привести результаты изучения залежей пермотриасового возраста Хапчагайского мегавала Вилюйской синеклизы, так как условия формирования пермотриасовых отложений окраинных прогибов (Предпатомского и Енисей-Хатанского), а также прогибов прилегающих территорий были подвергнуты влиянию траппового магматизма.

Особенно интенсивным он был в позднепермско-триасовом времени [1, 2, 7, 8]. Результаты интерпретации региональных сейсмопрофилей на северо-западе ЯНАО (включая территорию Карского моря) показывают широкое распространение палеозойских отложений [7, 8] (рис. 2, 3). На территории Южно-Карской синеклизы подтверждается широкое распространение палеозойских отложений мощностью 2 000 м, а в вулканогенно-терригенных отложениях перми и триаса мощность во впадинах доходит до 1 500 м [8]. По данным [7], в триасовых и палеозойских отложениях севера Западной Сибири выявлено 36 пермотриасовых объектов (13 в триасе и 23 в палеозое). По категории Д1 ресурсы палеозоя составляют 649,3 млн т условного топлива [7] (рис. 2).

Из приведенных данных видно, что палеозой-мезозойские отложения северо-восточной части Западно-Сибирской плиты по условиям формирования, термобарическим условиям, существующим в палеозой-мезозойских глинистых и глинисто-терригенных (вулканогенных и вулкано-терригенных) залежах Вилюйской синеклизы (Хапчагайский мегавал Восточной Сибири) в значительной степени аналогичны.

Вилюйская синеклиза позднего девона, ранней юры являлась и остается объектом поисков и разведки месторождений нефти и газа на территории Восточной Сибири. Установлено, что объем вулканогенных исследований достаточно велик и вызывает значительный интерес также в отложениях позднего девона — раннего карбона Кемпендяйской впадины, нижнего триаса Хапчагайского поднятия (содержание вулканогенного материала в этих отложениях колеблется от 70 до 100 %) [Томилова Н.Н., 2012]. Такая неустойчивая, неравномерная в химическом отношении система (вулканогенный материал) на всех этапах существования породы является ареной интенсивных постседиментационных преобразований. Выявление непрерывности их в разрезе и по площади

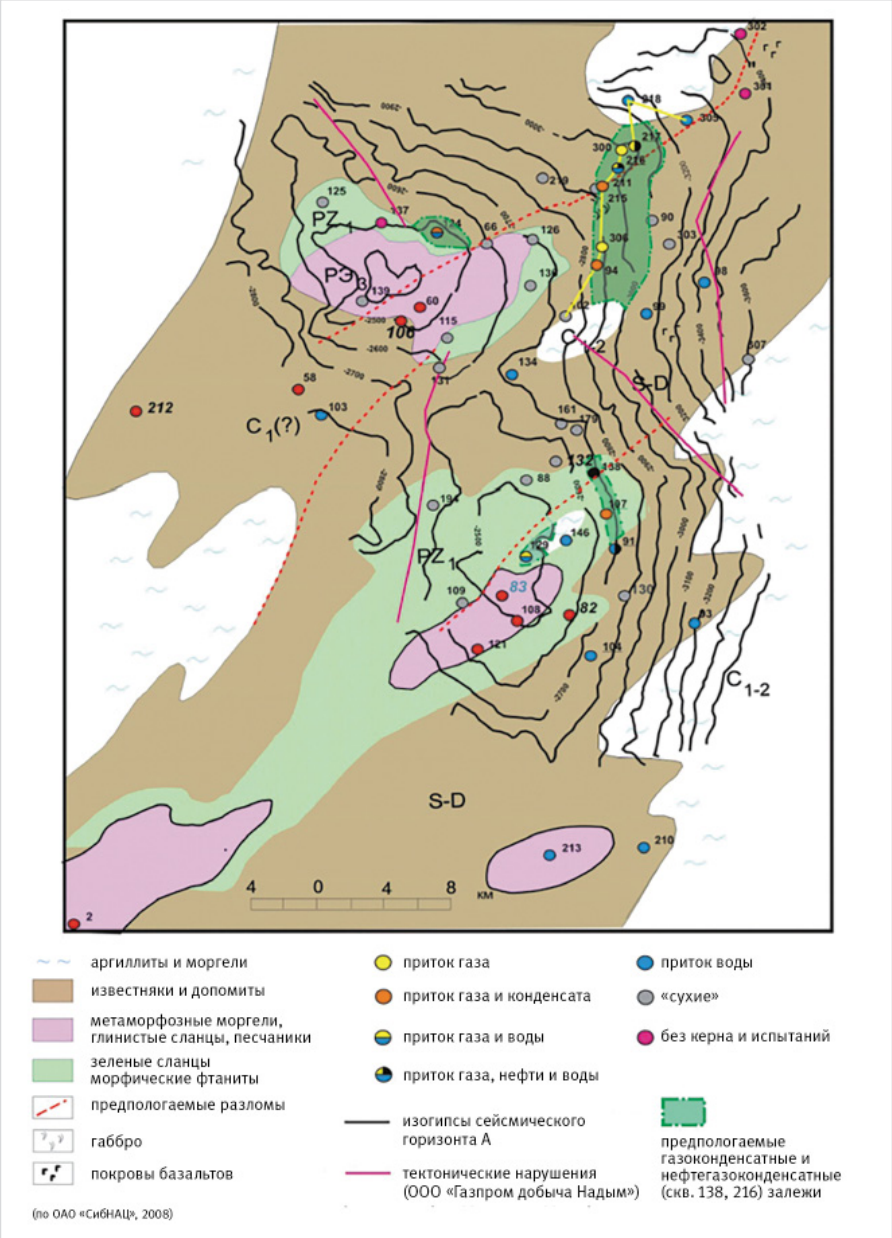

Рис. 3. Современные данные литологического состава и нефтегазоносности палеозойских отложений севера ЯНАО [8]
Fig. 3. Modern data on the lithological composition and oil and gas content of paleozoic deposits of the north of the Yamalo-Nenets Autonomous Area [8]

является на современном этапе крайне актуальной задачей познания состава, строения и нефтегазоносности разновозрастных вулканогенных пород-коллекторов и газофлюидоупоров Вилюйской синеклизы. В изученных разрезах отложений Кемпендяйской впадины и нижнего триаса Хапчагайского мегавала встречены три группы пород: эффузивные, вулканокластические и вулканоосадочные. Группа эффузивных пород представлена миндалекаменными спилитами, базальтами, диабазами в нижнем триасе и палагонитовыми долеритами в девоне-карбоне Кемпендяйской впадины [Томилова Н.Н., 2012]. Вулканогенные кластические породы представлены туфами шлаковыми, пепловыми, палагонитовыми туффитами в нижнем триасе, пепловыми туфами и туффитами в девоне-карбоне [Томилова Н.Н., 2012]. Наконец, требуется принципиально новый подход к оценке условий вскрытия и проходки цеолитоносных вулканогенных пород. Цеолиты выполняют роль «молекулярных сит», давая катион-замещенные формы. Глинистый раствор, соприкасаясь с таким «ситом», полностью меняет те свойства, которые ему заданы. Выбор типа бурового раствора должен производиться с учетом наличия не только монтмориллонитовых горизонтов, но и горизонтов с цеолитовым цементом гейландит или монтмориллонитового состава [1]. В результате дифференцированного подхода к подсчету запасов газа Соболох-Неджелинского месторождения (самого большого на Хапчагае) запасы УВ увеличились в 5 раз по сравнению с ранее подсчитанными. Такое же увеличение запасов, аналогичному по строению, но приуроченному к мономскому и таганджинскому вулканогенным пластам, должны увеличиться в несколько раз на Средневилюйском месторождении Хапчагайского мегавала [1].

Из-за сложной конфигурации и малого диаметра путей фильтрации, а также значительной роли процессов десорбции высокие депрессии при эксплуатации залежей приводят не к повышению притока УВ, а к разрушению пласта и закупорке путей подтока газа и жидкости. С целью количественной оценки

трещинной емкости и подтверждения наличия трещинных коллекторов, следует дополнительно проводить наблюдение за гидростатическим давлением, а также за изменением свойств буровых растворов в процессе проводки скважины. Бурение на утяжеленных буровых растворах способствует закупорке призабойной зоны и сухим притокам газа. В статье показано, что в пермотриасовых залежах на Хапчагае (Вилюйская синеклиза Восточно-Сибирского региона) и на северо-востоке территории Западной Сибири, исходя из общегеологического развития пермотриасовых отложений на больших глубинах, существуют одинаковые термобарические условия формирования залежей, аналогичных Хапчагайским [1, 6, 7, 8].

Огромная работа, проведенная КНИЛВОСТСИБ РГУ им. И.М. Губкина, может быть использована при освоении как пермотриасовых отложений Западной Сибири, так и прилегающих морей (Карского и моря Лаптевых). Детали методов изучения вулканогенных коллекторов представлены в монографии [1].

Итоги

В статье обоснована возможность использования методов изучения пермско-нижнетриасовых объектов в Восточной Сибири (Вилюйская синеклиза, Хапчагайский мегавал) с целью рационального извлечения углеводородов в пермотриасовых отложениях Западной Сибири.

Выводы

Детальное изучение пермотриасовых коллекторов нефти и газа Вилюйской синеклизы может быть положено (с учетом новых методов и программ) в основу дальнейших исследований и разработок на северо-восточных территориях Западной Сибири.

В качестве перспективного объекта поисков углеводородных залежей в Вилюйской синеклизе рассматривается Кемпендяйская впадина (девон-карбон, вулканогенные залежи).

Литература

1. Дмитриевский А.Н., Томилова Н.Н., Юрова М.П., Рудов А.А. Вулканогенные природные резервуары Якутии. М.: ГЕОС, 2002. 80 с.
2. Старосельцев В.С. Историко-тектоническое положение траппов Сибирской платформы. Сборник научных трудов. Новосибирск, 1983. С. 89–96.
3. Гребенюк Г.Г., Луговцов А.Д. Палеотектонические и палеотермические предпосылки нефтегазоносности краевых депрессий Сибирской платформы. Сборник научных трудов. Новосибирск, 1983. С. 23–32.
4. Микуленко К.И. Сравнительная тектоника мезозойских депрессий Сибири. Сборник научных трудов. Новосибирск, 1983. С. 3–22.
5. Попова Н.В., Томилова Н.Н. Взаимосвязь пластовых вод с петрофизической характеристикой пород на примере верхнепермских и нижнетриасовых отложений Хапчагайского мегавала // Труды московского института нефтехимической и газовой промышленности им. И.М. Губкина. 1981. Выпуск 159. С. 99–109.
6. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Шабалин Н.А. Углеводородный потенциал Сибирской платформы // Труды российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. 2017. № 1. С. 16–33.
7. Кравченко М.Н. Перспективы нефтегазоносности глубокопогруженных отложений осадочного чехла северных районов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Геология нефти и газа. 2012. № 6. С. 13–21.
8. Киченко В.В., Истратов И.В., Карнаухов С.М. Современные данные о нефтегазоносности палеозойских отложений севера ЯНАО // Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих районов России до 2030 г. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011. С. 44–58.

ENGLISH

Results

The article substantiates the possibility of employing methods for studying Permian-Lower Triassic objects in Eastern Siberia (Vilyui syneclise, Khapchagai megaswell) for the rational extraction of hydrocarbons in the Permian-Triassic deposits of Western Siberia.

Conclusions

A detailed study of Permo-Triassic oil and gas reservoirs of the Vilyuisk syneclise can be used (taking into account new methods and programs) as the basis for further research and development in the northeastern territories of Western Siberia.

The Kempendyai depression (devonian-carboniferous, volcanogenic deposits) is considered as a prospective object of hydrocarbon deposits in the Vilyui syneclise.

References

1. Dmitrievskij A.N., Tomilova N.N., Jurova M.P., Rudov A.A. Volcanogenic natural reservoirs of Yakutia. Moscow: GEOS, 2002, 80 p. (In Russ).
2. Staroselcev V.S. Historical and tectonic position of traps of the Siberian platform. Novosibirsk, 1983, P. 89–96. (In Russ).
3. Grebenjuk G.G., Lugovcov A.D. Paleotectonic and paleothermal prerequisites for the oil and gas potential of the marginal depressions of the Siberian Platform. Novosibirsk, 1983, P. 23–32. (In Russ).
4. Mikulenko K.I. Comparative tectonics of Mesozoic depressions of Siberia. Novosibirsk, 1983, P. 3–22. (In Russ).
5. Popova N.V., Tomilova N.N. The relationship of reservoir waters with the petrophysical characteristics of rocks on the example of Upper Permian and Lower Triassic deposits of the Hapchagai megaswell. Moscow Institute of Petrochemical and Gas Industry. I. M. Gubkin, issue 159. Moscow: Nedra, 1981, P. 99–109. (In Russ).
6. Dmitrievskij A.N., Eremin N.A., Shabalin N.A. Hydrocarbon potential of the Siberian Platform. Proceedings of Gubkin University. Moscow, 2017, issue 1, P. 16–33. (In Russ).
7. Kravchenko M.N. Prospects of oil and gas potential of deep-submerged sedimentary cover deposits of the northern regions of the West Siberian oil and gas province. Oil and gaz geology, 2012, issue 6, P. 13–21. (In Russ).
8. Kichenko V.V., Istratov I.V., Karnauhov S.M. Modern data on the oil and gas content of Paleozoic deposits of the North of the Yamalo-Nenets Autonomous District. Problems of resource provision of gas producing regions of Russia until 2030. Moscow, Gazprom VNIIGAZ, 2011, P. 44–58. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ I INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Юрова Маргарита Павловна, к. г.-м. н., ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия
Для контактов: mpyurova@mail.ru

Yurova Margarita Pavlovna, ph.d. of geologo-mineralogical sciences, principal scientist, Oil and gas research institute RAS, Moscow, Russia
Corresponding author: mpyurova@mail.ru