



РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЗОНАХ ФЛЮИДНОЙ РАЗГРУЗКИ СЕВЕРО-КАРСКОГО И ЛАПТЕВОМОРСКОГО ШЕЛЬФА (РЕЙС TTR-24)

✉ Полудеткина Е.Н.¹, Потемка А.К.¹, Рыбалко А.Е.², Токарев М.Ю.¹, Сигачева Л.Ю.¹, Головенко А.В.³

¹ МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия

² ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

³ РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина, Москва, Россия

✉ poludetkinaelena@mail.ru

Детальные геолого-геофизические исследования, выполненные в рейсе TTR-24 в северо-восточной части Карского моря и юго-западной части моря Лаптевых, позволили обнаружить и закартировать обширные зоны флюидной разгрузки и связанные с ними формы рельефа. В этих зонах выполнен проботбор донных осадков, аналитические исследования газовой фазы и органического вещества, результаты которых позволяют уверенно диагностировать наличие миграционных углеводородов из недр осадочного чехла. Определена связь с внутренней структурой бассейнов, связь глубинных разломов и дефлюидизации термогенных флюидов. Результаты будущих комплексных исследований позволят пролить свет на генезис, литофациальные характеристики и глубину залегания нефтегазогенерирующих толщ, а также на состав и свойства самих углеводородов.

Ключевые слова: *Северо-Карский регион, Лаптевоморский регион, флюидоразгрузка, углеводороды, верхняя часть разреза, потенциальная нефтегазоносность*

Введение. В августе-сентябре 2025 г. Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ проводилась мультидисциплинарная научно-образовательная экспедиция TTR-24 (АБП-62) в рамках программы «Обучение-через-исследование (Плавучий Университет)» («Training-through-Research (Floating University)») на борту научно-исследовательского судна «Академик Борис Петров». Тема экспедиции - «Изучение четвертичного покрова, участков распространения субаквальной криолитозоны, донной флюидоразгрузки и опасных геологических процессов на шельфе Карского и Лаптевых морей с использованием отечественных программно-аппаратных комплексов для геофизического и геохимического мониторинга и проведение «Обучения-через-исследования». Экспедиция продолжила и расширила перспективные исследования, проведенные в экспедициях МГУ, в 2020, 2021 и 2024 гг. (север Баренцева моря), в 2022 и 2024 гг. (север Карского моря) [Рыбалко и др., 2025].

Районы, выбранные для работы экспедиции, характеризуются высоким потенциалом на нефть и газ, что требует увеличения числа и повышения эффективности фундаментальных научных исследований на наименее изученном севере Карского и Лаптевоморского шельфов. Поэтому вопросы всестороннего изучения флюидной разгрузки здесь крайне актуальны, особенно на фоне слабой геологической изученности этого региона.

Одним из направлений экспедиций программы Training Through Research является поиск и изучение зон фокусированной разгрузки и микро-просачиваний (микросипов) углеводородных флюидов на Арктическом шельфе. В рамках этого направления решаются следующие задачи:

- уточнение строения разреза верхней части осадочного чехла и особенностей рельефа в участках морского дна в зонах флюидной разгрузки;

- анализ данных геолого-геохимического опробования донных отложений с целью установления фоновых и аномальных концентраций газообразных и жидких флюидов, свидетельствующих о флюидоразгрузке недр, изучение их геохимических характеристик;
- корреляция «миграционный флюид – потенциальные нефтегазоматеринские толщи (ПНГМТ)» для характеристики углеводородных систем региона;
- разработка методических основ изучения зон флюидоразгрузки на Арктическом шельфе.

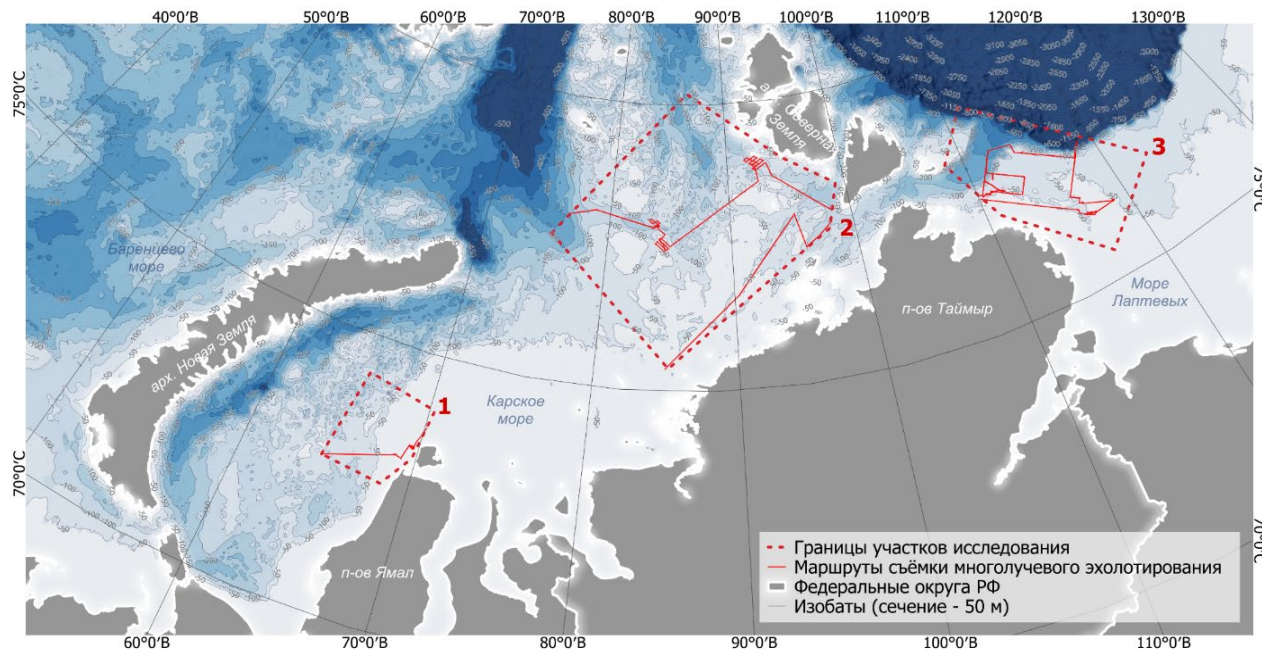


Рис. 1. Полигоны исследования экспедиции ТТР-24.
1 – Белоостровский, 2 – Северо-Карский, 3 – Лаптевоморский.

Методика работ. Работы проводились в центральной и северной части Карского моря, в рамках листов Госгеолкарты миллионного масштаба (Т-41-44 и Т-45-48), и в юго-западной части моря Лаптевых в рамках листов Госгеолкарты миллионного масштаба (Т-49-52-о-ва Петра). Для изучения столь обширной территории был использован метод детальных участков. На Лаптевоморском полигоне было выбрано 3 детальных участка (Притаймырский, Стратиграфический, Икаит), в пределах Северо-Карского полигона – 2 (Самойловича, KasaLima), в пределах Белоостровского – 1, на каждом из которых решались определенные геологические задачи (уточнение границ оледенения, выявление криогенных структур, изучение флюидной разгрузки и пр.).

В рамках экспедиции был выполнен широкий спектр мультидисциплинарных исследований, включающих геолого-геофизические изыскания по изучению верхней части геологического разреза, гидроакустическую съёмку рельефа морского дна, гидрофизические замеры в водной толще, отбор колонок донных осадков с последующим изучением их литологического состава, инженерно-геологических характеристик, геохимическим анализом поровых газов и рассеянного органического вещества.

Геофизические методы включали 2Д сейсморазведку сверхвысокого разрешения (ССВР - более 500 пог. км), многолучевое эхолотирование (МЛЭ - более 3000 пог. км), акустическое профилирование (АПр - более 3000 пог. км) с набортным профилографом, морскую магнитную съемку продольным градиентометром (более 2000 пог.км).

Геологический пробоотбор выполнялся на объектах, предварительно выделенных по геофизическим данным (всего 48 станций). В качестве пробоотборника использовалась гравитационная ударная прямоточная труба длиной 3 метра. После пробоотбора выполнялась документация кернов, фотографирование, отбор проб на дальнейшие

анализы: литологические, гидрогеологические, битуминологические исследования, геохимический анализ газовой фазы, инженерно-геологические исследования грунтов, микробиологический анализ.

Результаты работ.

Полигон Северо-Карский. В экспедициях TTR-21 и TTR-23 по данным мультисекционного сейсмоакустического профилирования и эхолотирования в районе работ выявлены многочисленные зоны активной дефлюидизации, околочурены участки современной и палео-разгрузки углеводородов (УВ) из недр осадочного чехла, опробованы зоны с потенциально повышенным газосодержанием. Выполнен комплекс исследований, позволяющих диагностировать наличие миграционных жидких и газообразных углеводородов из недр осадочно-породного чехла.

В рамках экспедиции TTR-24 продолжено изучение зон флюидоразгрузки в пределах ранее околочуренных объектов на полигонах Limacina и Kasania [Полудеткина и др., 2023]. Между двух крупных антиклинальных структур глубокого заложения зафиксированы интенсивные признаки флюидоразгрузки в верхней части разреза (ВЧР), которые проявлялись на данных ССВР в виде аномалий «яркое пятно», а на данных АПр - в виде газового фронта. Кроме того, на данных МЛЭ были выявлены поля покмарок, приуроченные к району Центрально-Карского желоба (рис. 2). Диаметр покмарок - от 10 до 50 м, относительная глубина - 0,5-5 м.

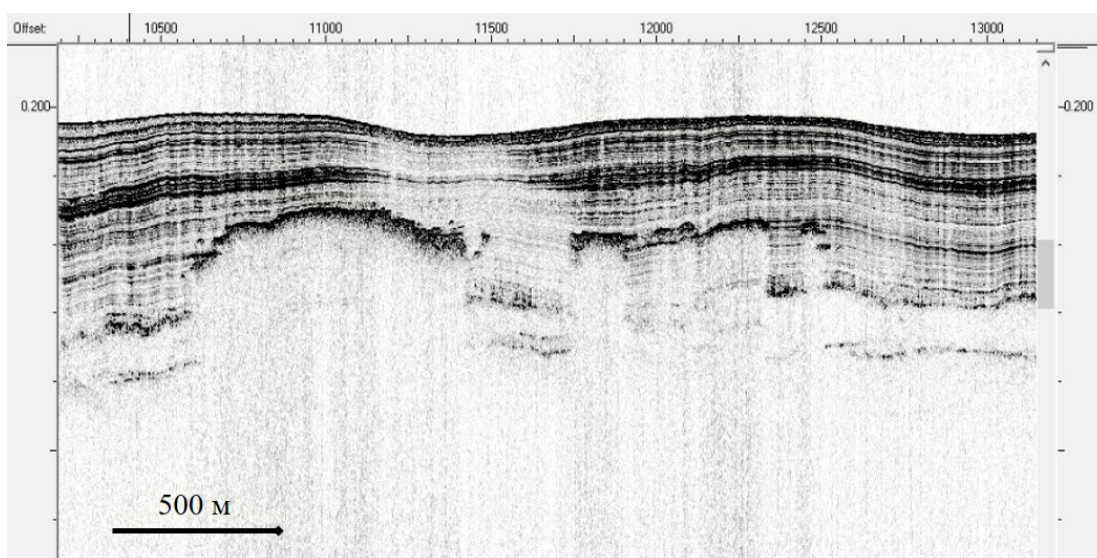


Рис. 2. Пример газового фронта на данных АПр (детальный участок Kasania)

Выполненные исследования газовой фазы донных осадков показали повышенное содержание метана (до 730 ppm) и гомологов до пентана включительно (1-10 ppm), включая предельные и непредельные УВ [Юмашева, 2022]. Такие значения свидетельствуют о смешении в осадке УВ бактериального генезиса и глубинных, термогенных УВ, что удостоверяют данные изотопных исследований ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} = -60.4$ - -63.1‰). Газожидкостная хроматография гексановых экстрактов осадков позволила установить в ряде станций наличие эпигенетических легких алканов состава $\text{C}_8\text{-C}_{15}$ с «плавным» трендом распределения, что наряду с высокой зрелостью ОБ, установленной по биомаркерным показателям зрелости (стерановый параметр $\text{bb}/(\text{aa}+\text{bb})\text{C}_{29}$, отношение гомогпанов $22\text{S}/(22\text{S}+22\text{R})\text{C}_{32}$ и др.), характеризует наличие в осадке легких миграционных УВ конденсатного облика глубинного генезиса.

В экспедиции TTR-24 изучен детальный участок «Самойлович», находящийся в пределах Самойловичско-Седовского вала - юго-западной структуры островной части арх. Северная Земля. В пределах участка околочурено и опробовано поле покмарок (105 штук). Эти структуры имеют средний диаметр 10 метров и глубину от 1 до 2,5 метров, форма

преимущественно U-образная, свидетельствующая об отсутствии активной дегазации в настоящее время. Опробование этих форм рельефа выявило повышенные в 2-3 раза концентрации метана относительно фоновых (CH_4 – до 26 ppm), наблюдается полный гомологический ряд до пентана. Сводная часть вала сложена нижнесилурийскими отложениями, являющиеся перспективно нефтегазогенерирующими на акватории Северо-Карского ПНГБ [Качурина и др., 2013; Вержбицкий, 2012]. Наличие мощных зон разуплотнения, выделенных по архивным сейсмическим данным, может свидетельствовать о наличии в ВЧР свидетельств миграции глубинных УВ флюидов из нижнепалеозойского потенциально перспективного комплекса осадочно-породного чехла.

Полигон Лаптевоморский. Полигон исследований в море Лаптевых располагается преимущественно в пределах ЮЗ части шельфа, лишь частично затрагивая континентальный склон.

По данным сейсмоакустического профилирования и многолучевого эхолотирования на 3 детальных участках выявлены многочисленные аномалии, связанные с газонасыщением. Наблюдается два типа аномалий (рис. 3): локальные газопроявления, выделяющиеся по наличию аномалии типа «яркое пятно» и по инверсии фазы, и протяженные области флюидоразгрузки, прослеживающиеся по повышенным амплитудам, экранированию нижележащего разреза и по инверсии фазы.

Протяженные области флюидной разгрузки выделены преимущественно в южной части исследуемого участка на глубинах морского дна от 50 до 150 м. При продвижении на север и, соответственно, увеличении глубин морского дна, проявлений газа становится значительно меньше. При достижении глубины 150 м, на полученных данных СВР аномалии, связанные с газонасыщением, не наблюдаются.

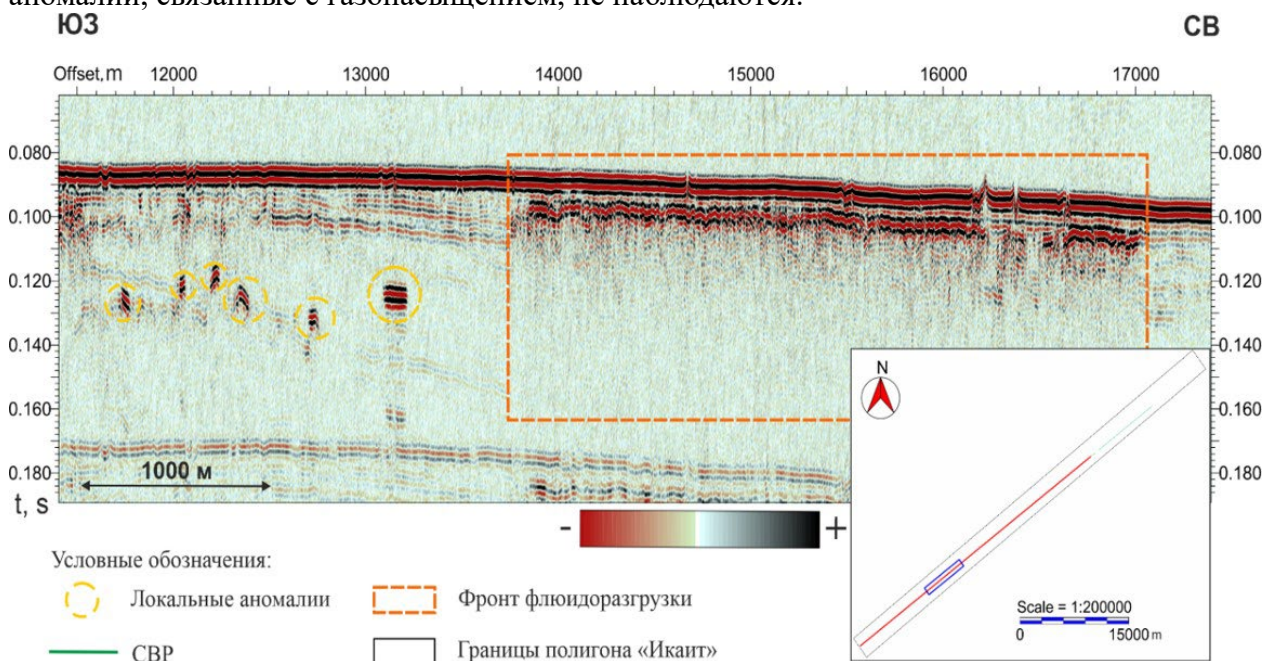


Рис. 3. Пример проявления газонасыщенных отложений на данных СВР. На врезке показано положение профиля (синий прямоугольник)

В центральной части полигона (глубины от 90 до 160 м) наблюдаются многочисленные скопления покмарок. Относительная глубина покмарок - 2-3 м, диаметр - 10-20 м, наиболее крупные достигают 55 м. На глубине 140 м оконтурены несколько объектов - бугров хаотичной формы, относительной высотой до 2 м и шириной до 40 м, формирование которых предположительно связано с флюидной разгрузкой.

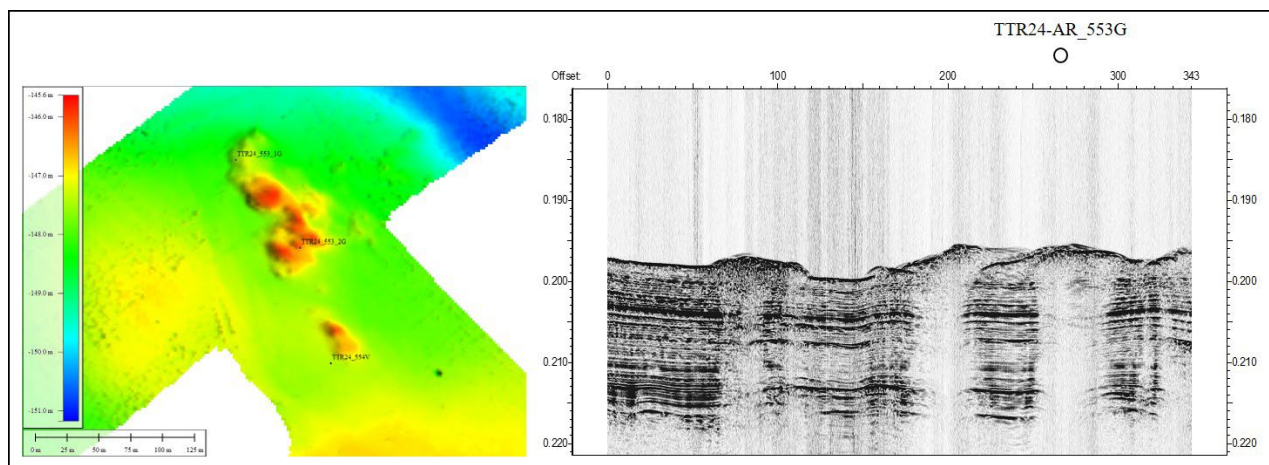


Рис. 4. Формы рельефа, связанные с флюидной разгрузкой

УВ состав газовой фазы донных осадков в пределах этих форм рельефа показывает резкое превышение концентраций относительно фоновых для района исследований. Содержание CH_4 достигает 4,8%, C_{2+} - до 17 ppm. Увеличение концентраций углеводородов вниз по разрезу в совокупности с увеличением параметра $(\text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_3\text{H}_8)/(\text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_3\text{H}_6)$ [$R^2=0.73$] характеризует подток термогенных УВ флюидов вверх по разрезу.

В гексановых экстрактах донных отложений обнаружена гомологическая серия н-алканов с длиной цепи от C_{12} до C_{40} . Н-алканы состава C_{12} - C_{17} в большинстве экстрактов присутствуют в значительных количествах. Характер распределения н-алканов анализируемых экстрактов позволяет предположить наличие двух групп ОВ, различных по генезису ОВ. В высокомолекулярной области наблюдается пилообразное распределение н-алканов, свойственное незрелому ОВ современных осадков с резким преобладанием нечетных н-алканов в высокомолекулярной области ($\geq \text{C}_{23}$). При этом в низкомолекулярной области наблюдается повышенные концентрации н-алканов C_9 - C_{20} с плавным трендом распределения и 2 относительными максимумами – на C_{12} и C_{19} , что характерно для зрелого, миграционного ОВ. Вероятно, такие экстракты представляют собой смесь современного для осадков района исследований ОВ и катагенетически зрелых миграционных УВ флюидов.

Заключение. Анализ геолого-геофизических и геохимических данных, полученных в экспедиции TTR-24, позволяет сделать вывод о том, что мощная флюидная разгрузка в ВЧР является следствием миграционных процессов из глубоко погруженных недр осадочно-породного чехла. В Северо-Карском ПНГБ и ЮЗ части Лаптевоморского ПНГБ обнаружены признаки разгрузки как газообразных, так и жидких углеводородов. Так как в Северо-Карском и Лаптевоморском регионе получил развитие мощный осадочный чехол, а в структурных планах различных стратиграфических уровней выделяются крупные зоны потенциального нефтегазообразования и нефтегазонакопления [Конторович В.А., 2019; Скворцов М.Б., 2020], предпосылки массопереноса углеводородов из недр осадочного чехла по зонам разуплотнения (разломам, разрывным нарушениям – каналам миграции, а также посредством диффузионного переноса) существуют, причем в пределах различных полигонов экспедиции зоны генерации и аккумуляции углеводородов являются различными по стратиграфическому интервалу и по глубине залегания.

Благодарности и финансирование. Работа выполнена в рамках Всероссийской научно-образовательной программы «Плавучий университет» (соглашение № 075-03-2025-662/8). Участники экспедиции благодарят экипаж НИС «Академик Борис Петров» за профессионализм и доброжелательную атмосферу во время экспедиции и Координационный центр "Плавучий университет" МФТИ за помощь на всех этапах организации рейса.

ЛИТЕРАТУРА

Вержбицкий В.Е., Косенкова Н.Н., Ананьев В.В. и др. Геология и углеводородный потенциал Карского моря // Oil & Gas Journal Russia, 2012, № 1, с. 48-54.

Качурина Н.В., Макарьев А.А., Макарьева Е.М. и др. Гос. геол. карта РФ. Масштаб 1:1000 000. Серии Северо-Карско-Баренцевоморская и Таймырско-Североземельская. Лист Т-45-48 – м. Челюскин. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013, 568 с.

Конторович В.А., Конторович А.Э. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности шельфа Карского моря // Доклады Академии Наук. 2019. Т. 489. №3. с.272-276. doi: 10.31857/S0869-56524893272-276

Полудеткина Е.Н., Токарев М.Ю., Басова Е.Д., Юмашева А.К., Рыбалко А.Е., Пирогова А.С., Потемка А.К. Особенности флюидоразгрузки на морское дно и в верхней части разреза в северо-восточной части Карского шельфа по результатам экспедиции ТТР-21 // Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток (ОМНР - 2023), IX Международная научно-техническая конференция, 12-14 июля 2023 г., издательство ООО «Линзпринт». Москва. 2013. С. 27.

Рыбалко А.Е., Полудеткина Е.Н., Потемка А.К., Рябчук Д.В., Токарев М.Ю., Ольнева Т.В., Аксенов А.О., Коточкова Ю.А., Румянцева А.К., Симонова А.К. Плавучий университет МГУ-Юнеско - результаты изучения четвертичных отложений в рейсе ТТР-24 в 2025 году // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2025. Выпуск 12. С. 177-189. doi: 10.24412/2687-1092-2025-12-177-189

Скворцов М.Б., Дзюбло А.Д., Грушевская О.В., Кравченко М.Н., Уварова И.В. Качественная и количественная оценка перспектив нефтегазоносности шельфа моря Лаптевых // Геология нефти и газа. 2020. №1. С. 5-19. doi: 10.31087/0016-7894-2020-1-5-19

Юмашева А.К., Полудеткина Е.Н., Токарев М.Ю., Рыбалко А.Е., Киль А.О. Зоны фокусированной разгрузки углеводородов как индикатор нефтегазоносности недр Северо-Карского бассейна // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2022. Выпуск 9. С. 308-313. doi: 10.24412/2687-1092-2022-9-308-313

RESULTS OF TTR-24 STUDIES IN THE FLUID DISCHARGE ZONES OF THE NORTH KARA SEA AND LAPTEV SEA SHELVES

Poludetkina E.N.¹, Potemka A.K.¹, Rybalko A.E.², Tokarev M.Yu.¹, Sigacheva L.Yu.¹, Golovenko A.V.³

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

² VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia

³ Gubkin University, Moscow, Russia

Detailed geological and geophysical studies performed during the TTR-24 scientific cruise within the northeastern part of the Kara Sea and the southwestern part of the Laptev Sea resulted in detecting extensive fluid discharge zones and associated relief forms. Subsampling of bottom sediments in these zones, analytical studies of the gas phase and organic matter was fulfilled. Results confidently diagnose the presence of thermogenic hydrocarbons from the deep sedimentary cover. The relationship with the internal structure of the basins, the relationship of deep faults and the fluid discharge is determined. The results of future comprehensive studies will shed light on the origin, lithofacial characteristics and depth of the source rock strata, composition and properties of the hydrocarbon fluids.

Keywords: North-Kara Sea region, Laptev Sea region, fluid discharge, hydrocarbons, the upper part of the sedimentary section, petroleum potential

REFERENCES:

- Verzhbitsky V.E., Kosenkova N.N., Ananyev V.V.* et al. Geology and hydrocarbon potential of the Kara Sea // *Oil & Gas Journal Russia*. 2012. №. 1. P. 48-54.
- Kachurina N.V., Makariev A.A., Makarieva E.M.* et al. State geologic map of the Russian Federation. Scale 1:1.000.000. The North Kara-Barents Sea and Taimyr-North Zemlya series. Sheet T-45–48 – M. Chelyuskin. An explanatory note. Saint Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory, 2013, 568 p.
- Kontorovich V.A., Kontorovich A.E.* Geological structure and petroleum potential of the Kara sea shelf // *Doklady Earth Sciences*. 2019. Vol. 489. № 1. P. 1289-1293. doi: 10.1134/S1028334X19110229
- Poludetkina E.N., Tokarev M.Yu., Basova E.D., Yumasheva A.K., Rybalko A.E., Pirogova A.S., Potemka A.K.* Features of fluid discharge to the seabed and in the upper part of the section in the northeastern part of the Kara Sea shelf according to the results of the TTR-21 expedition // *Development of oil resources and gas of the Russian shelf: The Arctic and the Far East (OMNR - 2023)*", IX International Scientific and Technical Conference, July 12-14, 2023, Linzprint Publishing House. Moscow. 2013. P. 27.
- Rybalko A.E., Poludetkina E.N., Potemka A.K., Ryabchuk D.V., Tokarev M.Yu., Olneva T.V., Akseyonov A.O., Kotochkova Yu.A., Rumyantseva A.K., Simonova A.K.* MSU-UNESCO Floating University - Results of the Study of Quaternary Sediments during the TTR-24 Cruise in 2025 // *Relief and Quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and Northwest Russia*. 2025. Issue 12. P. 177-189. doi: 10.24412/2687-1092-2025-12-177-189
- Skvortsov M.B., Dzyublo A.D.*, et al. Laptev Sea shelf: qualitative and quantitative assessment of hydrocarbon potential // *Oil and gas geology (Geologiya nefi i gaza)*. 2020. №1. P.5–19. doi: 10.31087/0016-7894-2020-1-5-19
- Yumasheva A.K., Poludetkina E.N., Tokarev M.Yu., Rybalko A.Ye., Kil' A.O.* Zones of focused discharge of hydrocarbons as an indicator of the oil and gas potential of the subsurface of the North Kara basin // *Relief and Quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and North-West Russia*. 2022. Issue 9. P. 308-313. doi: 10.24412/2687-1092-2022-9-308-313