

## ЛИТОФАЦИАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИИ TTR-19)

Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Егошина Е.Д., Валиева Э.И., Видищева О.Н., Полудеткина Е.Н.

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия.

Работы в экспедиции TTR-19 были нацелены на поиски зон фокусированной флюидоразгрузки и определение влияния литологического состава и свойств арктических донных накоплений на формирование фоновых и аномальных концентраций флюидов и органического вещества в приповерхностных осадках. Сейсмоакустические методы исследований позволили определить места, которые характеризуются высокой вероятностью наличия флюидонасыщенных отложений. Их опробование показало как повышенные концентрации метана и наличие гомологов, так и повышенное содержание органического вещества, в том числе лёгких битумоидов, свидетельствующие о возможном миграционном потоке углеводородов из глубоких интервалов осадочного разреза. Высокая уплотненность и низкая проницаемость позднеплейстоценовых отложений влияет существенным образом на конфигурацию геохимических полей и требует учета фактора литологического контроля флюидонасыщенности при интерпретации данных геохимических исследований.

Ключевые слова: *Баренцево море, фокусированная флюидоразгрузка, органическое вещество, многолучевое эхолотирование, сейсмоакустическое профилирование, газогеохимическое опробование*

Исследования газо- и флюидонасыщенности донных отложений северо-восточного сектора Баренцева моря, одного из наименее изученных секторов западной российской Арктики, представляются актуальной задачей в связи с постоянно растущим интересом нефтегазовой индустрии к арктическому шельфу. Баренцево море – один из крупнейших потенциальных нефтегазоносных бассейнов России [*Энергетика...*, 2010]. Морская поверхностная геохимическая съемка и поиск скоплений углеводородов, широко применяемые многие десятилетия на прочих акваториях, должны помочь в оценке ресурсных перспектив района. Тем не менее, особые характеристики придонных накоплений Баренцева моря требуют разработки особых подходов в проведении таких исследований и интерпретации их результатов.

Характерной особенностью региона является формирование верхней части осадочного разреза в условиях сложной эволюции четвертичного оледенения, под прямым или косвенным воздействием динамично развивающихся покровных ледников. Разнообразные субгляциальные накопления (морены), распространенные в районе, часто служат литогеохимическим барьером, препятствующим обычной миграции вещества из более глубоких горизонтов к поверхности. Это приводит к снижению эффективности стандартных методов газогеохимических исследований, нацеленных на поиск залежей углеводородного сырья. В связи с этим возрастает значимость изучения влияния литологического состава и свойств арктических донных накоплений на формирование фоновых и аномальных концентраций флюидов в приповерхностных осадках, а также важность понимания закономерностей распространения разных типов донных отложений в регионе. Таким образом, поиск новых месторождений углеводородов в пределах Баренцева моря требует серьезной фундаментально-научной поддержки.

В период с 18 июля по 17 августа 2020 года Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова при поддержке Министерства Науки и Высшего Образования Российской Федерации была организована комплексная многопрофильная научная экспедиция TTR-19 по программе «Обучение-через-исследование (Плавающий Университет)» («Training-through-Research (Floating University)»). Исследования проводились в северо-восточной части шельфа Баренцева моря, между архипелагами

Земля Франца Иосифа и Новая Земля (Рис. 1), с борта НИС «Академик Николай Страхов». Основной целью экспедиции являлось проведение опытных изысканий, направленных на фундаментально-научное обоснование методических подходов в организации геолого-геофизического и геолого-геохимического картирования зон арктических акваторий перспективных на залежи углеводородов, а также интерпретации данных геолого-геохимического опробования арктических донных илов с целью характеристики углеводородных систем. Учитывая положение района исследований в зоне распространения четвертичного оледенения, не менее важной задачей являлось определение влияния литологического состава и свойств арктических донных накоплений на формирование фоновых и аномальных концентраций флюидов и органического вещества в приповерхностных осадках.

В ходе экспедиционных работ были проведены обширные геофизические, геологические, геохимические, гидрогеологические, инженерно-геологические и микробиологические исследования на площади около 85 000 км<sup>2</sup> (Рис. 1). Места для проведения донного пробоотбора и газогеохимических исследований выбирались после проведения анализа данных дистанционных исследований: построения цифровой модели рельефа дна при многолучевом эхолотировании и изучения строения осадочного разреза акустическим профилографом и сейсморазведочной аппаратурой. Отобранный керн вскрывался для литологического описания, проведения измерений и отбора образцов на битуминологические исследования и определения состава газовой фазы. Определение молекулярного состава порового газа и концентрации неуглеводородных компонентов выполнялось на портативном газовом хроматографе непосредственно на судне. Образцы донных осадков изучались в лабораториях МГУ имени М.В. Ломоносова люминесцентно-битуминологическим методом, по результатам которого определялись средние содержания битумоида в осадках, а также выделялись аномальные концентрации битумоидов и их качественные характеристики.

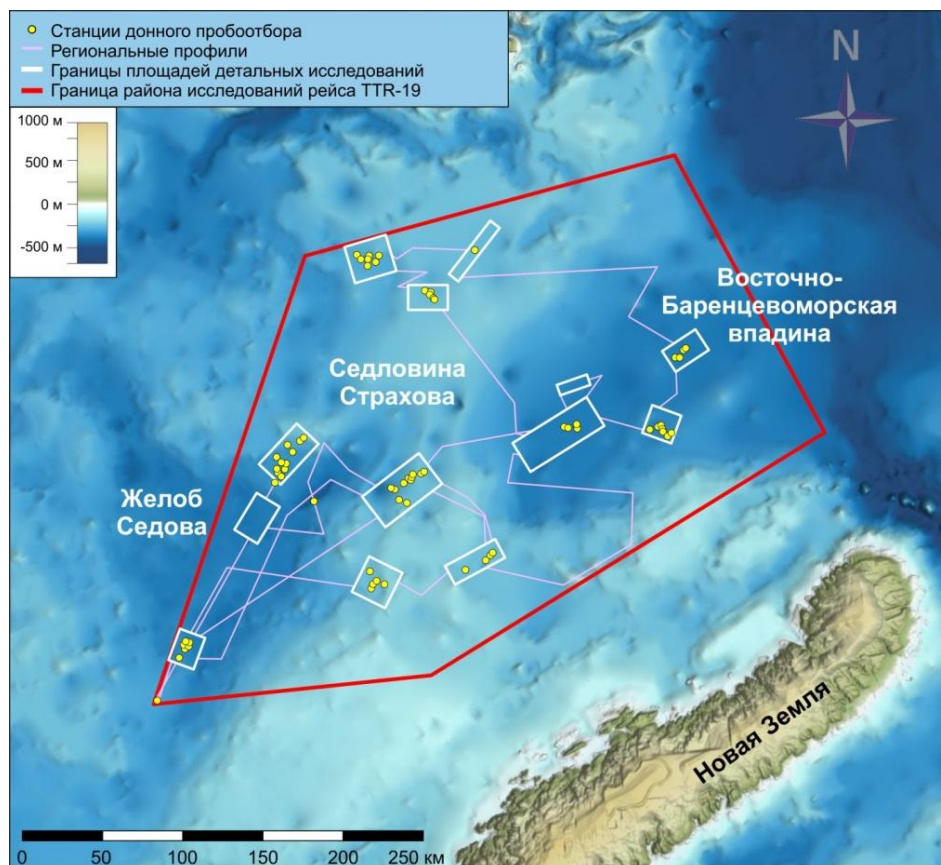


Рис. 1. Схема расположения районов детальных геолого-геофизических исследований и станций донного пробоотбора, обработанных в рейсе ТТР-19.

Результаты выполненных исследований позволяют судить о практически повсеместном распространении в пределах изучаемого района маломощных четвертичных накоплений, перекрывающих коренные отложения мелового возраста. Четвертичный комплекс представлен в нижней части познеплейстоценовыми плотными и слабопроницаемыми глинами (моренами), которые сменяются вверх по разрезу слабоконсолированными голоценовыми илами (морскими осадками). В результате геохимического анализа порового газа установлено, что придонные осадки северо-восточной части шельфа Баренцева моря характеризуются очень низким содержанием метана: фоновые концентрации составляют 1-5 ppm, а максимальные не превышали 85 ppm (Рис. 2). Гомологи метана (C2-C5) присутствуют в следовых количествах. Анализ органического вещества демонстрирует преимущественно маслянисто-смолисто-асфальтеновый состав в фоновых станциях и присутствие лёгких компонентов в некоторых станциях.

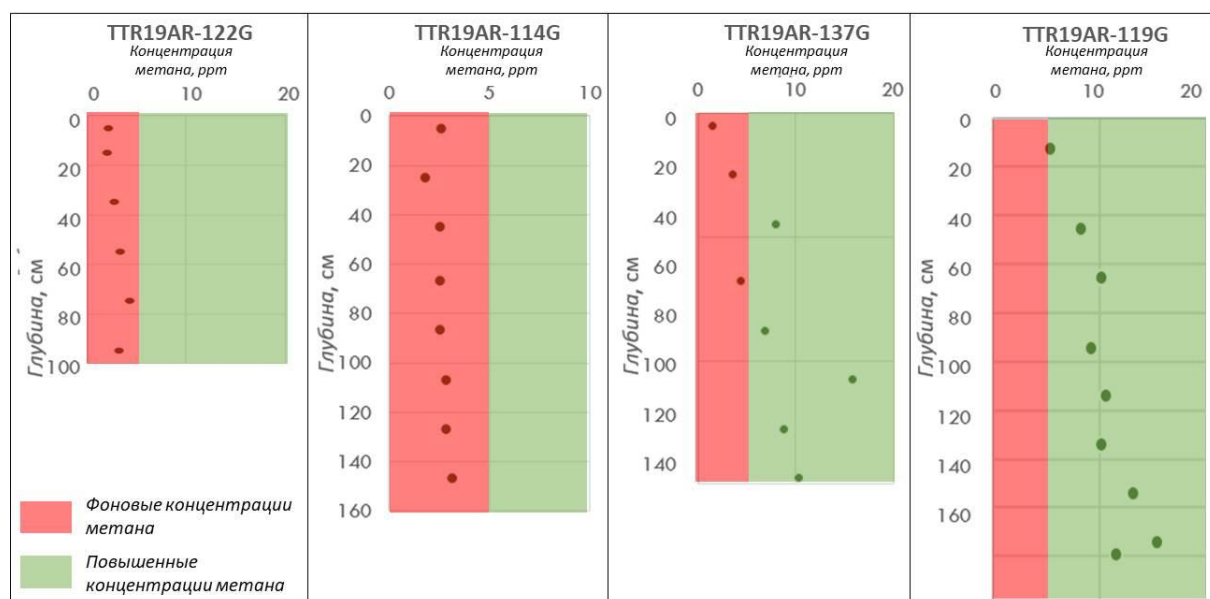


Рис. 2. Пример станций донного пробоотбора с фоновыми концентрациями метана (TTR19-AR122G и TTR19-AR114G) и с относительно повышенными концентрациями метана (TTR19-AR137G и TTR19-AR119G)

В связи с низкими концентрациями углеводородов в донных илах особое внимание было уделено дополнительным индикаторам углеводородной разгрузки, таким как: аномалии на сейсмоакустических данных, наличие характерных для зон флюидоразгрузки форм рельефа, особенности литологического состава и текстуры отобранных осадков, проявления биологической активности и повышенные концентрации неуглеводородных газов.

К литологическим признакам относятся следы дегазации осадка в виде вздутия керна, наличия каналов дегазации, неравномерное уплотнение осадка. Также о повышенных концентрациях органического углерода может свидетельствовать присутствие в разрезе большого количества гидротроилита и наличие метан-потребляющих организмов *Rogonophora*, существование которых невозможно без подтока метана и его окисления до  $CO_2$  [Lösekann, 2008]. Данные признаки были зафиксированы на некоторых полигонах, где были также получены повышенные содержания битумоида в осадках. В этих же станциях были зафиксированы и повышенные относительно фоновых концентрации метана – до 12 ppm.

Более эффективным способом поиска зон флюидоразгрузки зарекомендовали себя геофизические методы. Акустическое профилирование и данные сейсморазведки

позволили обнаружить места, на которых коренные породы выходят близко к поверхности дна и перекрыты маломощным слоем моренных отложений, а также выходы тектонических нарушений практически на морское дно. Опробование осадка и геохимические исследования показали повышенное содержание метана на таких участках – до 15 ppm. Также, на сейсмоакустических данных были обнаружены аномалии типа «яркое пятно», приуроченные к подошве ледниковых накоплений. Часто такие аномалии связаны с повышенной газонасыщенностью осадка, что подтвердил донный пробоотбор. Концентрации метана на таких участках достигают 16 ppm, а в одной станции повышаются до 85 ppm.

В ходе съёмки рельефа дна многолучевым эхолотом были обнаружены воронкообразные структуры на дне (предположительно «покмарки» и кратеры «гидратного взрыва») и структуры типа «hill-hole pairs». Формирование подобных структур некоторые исследователи связывают с фокусированной современной или, по крайней мере, палео-флюидоразгрузкой [Hovland and Judd, 1988; Andreassen et al., 2017; Winsborrow et al., 2016]. Обнаруженные структуры были опробованы. Опробование показало повышение концентрации метана в поровом газе, а также присутствие лёгких битумоидов.

Таким образом, установлено, что зоны фокусированной разгрузки, выявляемые при газогеохимических исследованиях донных илов, ассоциированы в большинстве случаев с различными аномалиями на данных сейсмоакустического профилирования и с характерными структурами в рельефе дна. Предварительно предположена термогенная природа разгружающего газа. В этих же зонах наблюдаются повышенные концентрации битумоидов. Люминесцентно-битуминологическое изучение органического вещества донных осадков северо-восточной части Баренцево моря показало, что в районе присутствуют зоны с восходящим миграционным потоком углеводородов из более глубоководных отложений. Доказано, что фациальная картина распределения разных типов четвертичных отложений существенным образом определяет конфигурацию поверхностных геохимических полей, а корректная интерпретация данных геохимических анализов невозможна без учета литологического контроля флюидонасыщенности донных накоплений.

## ЛИТЕРАТУРА

*Энергетика России: Взгляд в будущее* (Обосновывающие материалы к Энергетической стратегии России на период до 2030 года). М.: Издательский дом «Энергия», 2010. 616 с.

Andreassen K., Hubbard A., Winsborrow M., Patton H., Vadakkepuliambatta S., Plaza-Faverola A., Gudlaugsson E., Serov P., Deryabin A., Mattingsdal R., Mienert J., Büinz S. Massive blow-out craters formed by hydrate-controlled methane expulsion from the Arctic seafloor // *Science*. 2017. Vol. 356, Is. 6341. P. 948-953. <https://doi.org/10.1126/science.aal4500>

Hovland M., Judd A.G. Seabed Pockmarks and Seepages: Impact on Geology, Biology and Marine Environment, 1988, 293 p.

Lösekann, T., Robador, A., Niemann, H., Knittel, K., Boetius, A., Dubilier, N. Endosymbioses between bacteria and deep-sea siboglinid tubeworms from an Arctic Cold Seep (Haakon Mosby Mud Volcano, Barents Sea) // *Environmental Microbiology*. 2008. Vol. 10. Is. 12. P. 3237-3254. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2008.01712.x>.

Winsborrow M., Andreassen K., Hubbard A., Plaza-Faverola A., Gudlaugsson E., Patton H. Regulation of ice stream flow through subglacial formation of gas hydrates // *Nature Geoscience*. 2016. Vol. 9. P. 370–374. <https://doi.org/10.1038/ngeo2696>

**LITHOLOGICAL CONTROL OF FLUID SATURATION IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE NORTH-EASTERN BARENTS SEA (THE TTR-19 CRUISE DATA REPORT)**

*Solovyeva M.A., Akhmanov G.G., Egoshina E.D., Valieva E.I., Vidishcheva O.N., Poludetkina E.N.*

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The TTR-19 expedition aimed to find areas of focused fluid discharge on seafloor and to understand an impact of lithology and characteristics of arctic bottom deposits onto forming background and anomaly concentrations of gases and organic matter in subsurface. Seismic and acoustic profiling led to defining some areas where fluid saturated sediments were expected to present with high probability. Following bottom sampling retrieved increased concentrations of methane, presence of its homologues and enhanced organic matter content, including lighter bitumen, in the sediments, implying possible migration of hydrocarbons from deep strata. Highly compacted Late Pleistocene deposits are characterized by very low permeability and, thus, their distribution in the region affects significantly surface hydrocarbon dispersion pattern configuration. A correct interpretation of geochemical data can be made only with the consideration of sampled bottom sediments lithology.

*Keywords: The Barents Sea, focused fluid discharge, organic matter, multi-beam echosounding, seismic and acoustic profiling, geochemical bottom sampling*