

Литвиненко И.В.^{1,2}, Куршева А.В.¹, Моргунова И.П.¹
(¹ФГБУ «ВНИИОкеангеология», г. Санкт-Петербург, e-mail: i.litvinenko@vniio.ru; ivanlitvinenko@mail.ru; ²СПбГУ, Институт Наук о Земле, г. Санкт-Петербург)

Геохимия рассеянного органического вещества поверхностных отложений района западных отрогов возвышенности Персея (Баренцево море)

Litvinenko I.V.^{1,2}, Kursheva A.V.¹, Morgunova I.P.¹
(¹FSBI “VNIIOkeangeologia”, Saint-Petersburg; ²SPbSU, Institute of Earth Sciences, Saint-Petersburg)

Geochemistry of dispersed organic matter in surface sediments of the western spurs of the Perseus Upland (Barents Sea)

Ключевые слова: возвышенность Персея, рассеянное органическое вещество, углеводородные молекулярные маркеры, донные осадки, Баренцево море

При детальном изучении РОВ на молекулярном уровне установлено, что поверхностные донные отложения западных отрогов возвышенности Персея содержат вещество смешанного генезиса, часть которого постдиагенетического уровня преобразования.

Вещественный состав донных отложений Баренцева моря определяется геологическим строением и литолого-петрографическим составом пород, слагающих побережье, дно и острова бассейна [1, 2]. Сложный рельеф, активный гидродинамический режим, пестрота фациальных условий осадконакопления несомненно отражаются на генезисе, распределении и составе рассеянного органического вещества (РОВ) [3, 4].

По материалам донного опробования, выполненного в ходе экспедиционных работ ФГБУ «ВНИИОкеангеология» (НИС «Профессор Молчанов», 2022 г.) в районе западных отрогов возвышенности Персея (Баренцево море) в рамках выполнения работ по Программе Государственного геологического картирования территории и континентального шельфа Российской Федерации проведено детальное органо-геохимическое изучение РОВ донных отложений. Объектом исследования послужили донные осадки (0–13 см) отобранные на 14 станциях с глубин от 105 до 180 м.

Аналитическая процедура исследования РОВ включала: определение в отложениях нерастворимого остатка, содержания $S_{\text{орг}}$, $S_{\text{карб}}$, извлечение хлороформного ($A_{\text{хл}}$) и спиртобензольного ($A_{\text{сп-б}}$) битумоидов, гуминовых кислот (ГК), определение группового и молекулярного состава $A_{\text{хл}}$. Фракции насыщенных и ароматических углеводородов (УВ) были выделены хроматографически и исследованы методом ГХ-МС на комплексе Agilent 5973/6850 с квадрупольным масс-детектором и программным пакетом обработки аналитической информации [5, 6].

Изученные поверхностные отложения были представлены разнозернистым песком с гравием, глиной, алевропелитом, миктитом и алевропеском, что указывает на участие в процессе их формирования эдафогенного материала – продуктов размыва и переотложения близлежащей суши и морского дна, а также ледового разноса. Это нашло отражение в вариациях органо-геохимических характеристик, свидетельствующих о смешанном составе РОВ, источники и условия преобразования которого весьма многообразны.

Содержание $C_{орг}$ варьирует в пределах от 0.6 до 1.7%, что характерно для поверхностных отложений изучаемой части акватории Баренцева моря [7]. Содержание битумоидов $A_{хл}$ оценивается как среднее $0.015 \div 0.048\%$. Основную часть РОВ составляют остаточное ОВ (ООВ) и гуминовые кислоты (ГК). Содержание последних в ОВ колеблется от 0.0 до 21.7%, а ООВ изменяется от 73.5 до 95.6%, что может быть обусловлено сменой условий осадконакопления и/или источника сноса осадочного материала. Высокие содержания ООВ на фоне отсутствия и/или следовых количеств ГК свидетельствуют о значительном уровне трансформации части изученного РОВ, что согласуется с данными сейсмоакустического профилирования, выявившего признаки выходов на поверхность дна коренных мезозойских пород [8]. В составе $A_{хл}$ преобладают масла и смолистые компоненты, а в составе УВ доминирует ароматическая фракция, достигая 65%, что наиболее вероятно обусловлено присутствием постдиагенетического РОВ.

Анализ УВ молекулярных маркеров свидетельствует, что состав *n*-алканов характеризуется смешанным сапропелево-гумусовым и гумусово-сапропелевым генезисом РОВ ($TAR=0.7 \div 1.5$; рис. 1). Во всех изученных образцах прослеживается повышенный вклад *n*- C_{25} , источником которого могут являются мхи, погруженные макрофиты, цианобактерии [9, 10, 11]. Значения индексов нечетности *n*-алканов указывают на высокую степень деградации гидробийонтной составляющей в седиментогенезе ($OEP_{17-19} \sim 1.0$), в то время как гумусовые компоненты преобразованы незначительно ($OEP_{27-31} = 2.2$), что, по-видимому, связано с близостью источника поступления исходного органического материала. Вклад литифицированных (постдиагенетических) компонентов указывает на присутствие осадочного материала, содержащего преобразованное вещество ($>39.5\%$) [12].

Условия формирования РОВ, определенные по соотношению $Pr/n-C_{17} = 1.6 \div 2.8$ и $Ph/n-C_{18} = 0.9 \div 1.9$, соответствуют преимущественно лагунным фациям [13]. Согласно значениям изопреноидного коэффициента ($K_1 = 1.3 \div 2.3$) и коэффициента нечетности ($CP11 = 1.4 \div 1.7$) ОВ исследованного материала варьирует от умеренно зрелого до слабо преобразованного. Red-Ox потенциал отложений соответствует восстановительным условиям ($Pr/Ph \sim 1.9$) [4, 14, 15].

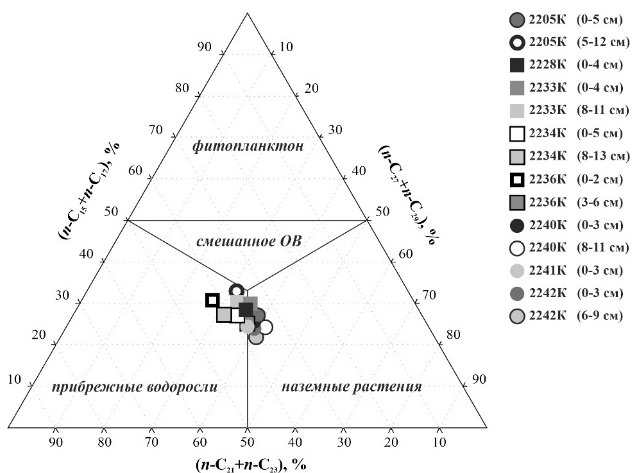


Рисунок. Генетическая характеристика РОВ донных осадков (по составу *n*-алканов).

В гомологическом ряду регулярных стеранов (C_{27} - C_{29}) изученных донных осадков преобладают холестаны (C_{27}) и этилхолестаны (C_{29}), маркирующие соответственно вклад микроводорослей и высших растений в исходный органический материал и отражают его смешанный состав ($C_{27}/C_{29}=0.6\div 1.5$). При этом вклад метилхолестана (C_{28}) характеризующий присутствие зоопланктона/лагунных водорослей в соотношении C_{28}/C_{29} достигает 0.8.

Все осадочные отложения содержат в составе стеранов тетрациклические биомаркеры – прегнан и гомопреган, что указывает на преимущественно морские, лагунные условия осадконакопления с повышенной соленостью [16, 17]. Данный вывод находится в соответствии с характеристикой других групп углеводородных маркеров (*n*-алканы, изопреноиды).

Терпановые показатели условий формирования ОВ изученных отложений соответствуют мелководно-морским и/или лагунным фациальным обстановкам осадконакопления ($H_{29}/H_{30}<1$; $H_{35}/H_{34}<1$) [4, 5].

Вариации стерановых и гопановых коэффициентов зрелости ($C_{29}(\alpha\alpha S+\alpha\beta R)/\alpha\alpha R=0.41\div 0.57$, $C_{29}\alpha\alpha 20S/(20S+20R)=0.18\div 0.29$, $H_{31}22S/(22S+22R)=0.29\div 0.45$; $29Ts/(29Ts+C_{29})=0.14\div 0.28$) характеризуют изученные отложения, как соответствующие диа- и постдиагенетической стадии преобразования [4].

Анализ соотношений молекулярных групп полиаренов (ПАУ) в формировании их состава и выявление вклада различных источников позволяет охарактеризовать изученные отложения, как преимущественно нефтидогенные (45–63%). Содержания ПАУ, образованных в результате пиролитических процессов достигают 44.5%, что может быть обусловлено

как техногенным влиянием, так и вкладом переотложенных пород, содержащих компоненты РОВ постдиагенетической стадии преобразования, что согласуется с вариациями метилфенантренового индекса ($MP11=0.38\div 0.60$). Согласно соотношениям термодинамических и кинетических изомеров ($ФЛ/(ФЛ+Пир)<0.5$; $БаА/(БаА+Хр)<0.5$) преобладания продуктов горения биомассы и твердых топлив в изученных отложениях не установлено, однако наличие во всех исследованных образцах производных пирена, 1-метилфлуорена, 2-метилантрацена свидетельствует о присутствии продуктов антропогенного генезиса [18, 19, 20], которые, наиболее вероятно, привносятся с атлантическими водами.

Комплекс полученных данных позволяет заключить, что формирование РОВ поверхностных отложений западной части возвышенности Персея происходило преимущественно в морских и лагунных обстановках. Генетические характеристики изученных углеводородных молекулярных маркеров свидетельствуют об участии в формировании современного осадочного чехла как автохтонных, так и аллохтонных источников, существенную часть которых составляют отложения, содержащие РОВ постдиагенетического уровня преобразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биогеохимия органического вещества арктических морей / Под ред. Грамберга И.С., Романкевича Е.А. М.: Наука, 1982. 240 с.
2. Романкевич Е.А., Ветров А.А. Цикл углерода в арктических морях России. М.: Наука, 2001 302 с.
3. Петрова В.И., Батова Г.И., Куршева А.В., Литвиненко И.В. Геохимия органического вещества донных отложений центрально-арктических поднятий северного ледовитого океана // Геология и геофизика. Подраздел: геологические предпосылки нефтегазоносности и ресурсы углеводородов морей северного ледовитого океана. 2010. № 1. С. 113–125.
4. Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M. The Biomarker Guide: vol. 2. Biomarkers and isotopes in petroleum systems and Earth history, second ed. Cambridge University Press, Cambridge, 2005. 1155 p.
5. Петрова В.И., Батова Г.И., Куршева А.В., Литвиненко И.В., Моргунова И.П. Молекулярная геохимия органического вещества триасовых пород северо-восточной части Баренцева моря – влияние тектонических и магматических процессов // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 3–4. С. 398–409.
6. Morgunova I.P., Petrova V.I., Litvinenko I.V., Kursheva A.V., Batova G.I., Renaud P.E., Granovitch A.I. Hydrocarbon molecular markers in the Holocene bottom sediments of the Barents Sea as indicators of natural and anthropogenic impacts // Marine Pollution Bulletin. 2019. V. 149. 110587. P. 1–12.
7. Система Баренцева моря / под ред. академика А. П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. 672 с.

8. Комаров А.Ю., Гусев Е.А., Крылов А.А., Алексеев А.Ю., Семенов П.Б., Элькина Д.В., Шатрова Е.В., Попова Е.А., Карташов А.О., Беляев П.Ю., Голосной А.С., Захаров В.Ю. Строение дна Баренцева моря в районе западных отрогов возвышенности Персея // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2022. Вып. 9. С. 128–132.
9. Строева А.Р., Гируц М.В., Кошелев В.Н., Гордадзе Г.Н. Бактериальный синтез *n*-алканов с нечетным числом атомов углерода в молекуле // Нефтехимия. 2013. № 53. С. 374–377.
10. Bush R.T., McInerney F.A. Leaf wax *n*-alkane distributions in and across modern plants: Implications for paleoecology and chemotaxonomy // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2013. V. 117. P. 161–179.
11. Ficken K.J., Li B., Swain D.L., Eglinton G. An *n*-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes // *Organic Geochemistry*. 2000. V. 31 P. 745–749.
12. Yamamoto M., Polyak L. Changes in terrestrial organic matter input to the Mendeleev Ridge, Arctic Ocean during the Late Quaternary // *Global Planet. Change*. 2009. V. 68. P. 30–37.
13. Connan J., Cassou A. Properties of gases and petroleum liquids derived from terrestrial kerogen at various maturation level // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1980. V. 44. № 1. P. 10–23.
14. Костырева Е.А. Геохимия и генезис палеозойских нефтей юго-востока Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 180 с.
15. Tissot B.P., Welte D.H. *Petroleum Formation and Occurrence*. Heidelberg: Springer, 1984. 702 p.
16. Каширцев В.А. Органическая геохимия нафтидов востока Сибирской платформы. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. 160 с.
17. Ten Haven H.L., Deleeuw J.W., Peakman T.M., Maxwell J.R. Anomalies in steroid and hopanoid maturity indices // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1986. V. 50. P. 853–855.
18. Rhead M.M., Hardy S.A. The sources of polycyclic aromatic compounds in diesel engine emissions // *Fuel*. 2003. V. 82. P. 385–393.
19. Sun Y., Qin S., Zhao C., Li Y., Yu H., Zhang Y. Organic geochemistry of semianthracite from the Gequan mine, Xingtai coalfield, China // *CoalGeol*. 2013. V. 116–117. P. 281–292.
20. Yunker M.B., McLaughlin F.A., Fowler B.R., Fowler M.G. Source apportionment of the hydrocarbon background in sediment cores from Hecate Strait, a pristine sea on the west coast of British Columbia, Canada // *Org. Geochem*. 2014. V. 76. P. 235–258.

When studying DOM at the molecular level, it was established that the surface bottom sediments of the western spurs of the Perseus Upland contain matter of mixed genesis, part of which is of a post-diagenetic level of transformation.