

## ОСОБЕННОСТИ ЛИТОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА И ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОРОД ОБНАЖЕНИЙ МЫСА МУОСТАХ (БЫКОВСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

М.З. Кажумуханова

Научные руководители: доцент Т.Г. Перевертайло, инженер-исследователь

А.А. Гринько, профессор И.В. Гончаров

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия

Многолетние исследования прибрежной зоны шельфа южной части моря Лаптевых и Быковского полуострова показали [1-6], что при катастрофическом по темпам термоабразивном разрушении берегов происходит не только перемещение береговой линии и изменение подводного рельефа, но и высвобождение огромных масс реликтового органического углерода с вовлечением его в современный биогеохимический цикл [2, 6].

Цель работы – изучение литологического состава и органического вещества пород обнажений мыса Муостях полуострова Быковский.

Объектами исследования являются образцы осадков, отобранные по клифу мыса Муостях (полуостров Быковский), а также образец осадка конуса выноса, отобранный в стороне от клифа. Ранее аналогичные исследования проводились нами при характеристике донных отложений северной части моря Лаптевых [4].

Наименования образцов соответствуют метражу их отбора по разрезу. Образцы волноприбойной ниши (ВП1) и конуса выноса (KB1) были отобраны на уровне 1 метр относительно уровня моря (табл.).

Гранулометрический анализ проводился ситовым методом. Минералогический состав изучался под бинокулярным микроскопом отдельно по песчаной и алевритовой фракциям. Общее содержание органического углерода и содержание легколетучих органических соединений в осадках определялись на пиролизаторе «Rock-Eval 6 Turbo» VINCI Technologies. Определение изотопного состава органического углерода в декарбонизированных образцах породы проводили на изотопном масс-спектрометре DELTA V ADVANTAGE. Органическое вещество экстрагировали из осадков в аппарате Сокслета в течение суток. Далее полученные экстракты делили на фракции методом колонной хроматографии на силикагеле. В рамках данной работы исследовали парафино-нафтеновую фракцию хроматомасс-спектрометрическим методом на приборе Bruker SCION 436 GC TQ с использованием кварцевой капиллярной колонки HP-5MS (длина 30 м, внутренний диаметр 0,25 мм, толщина пленки 0,25 мкм). Температура испарителя 300 °C, Начальная температура печи колонки 40 °C, нагрев 5 °C/мин до 150 °C, 3 °C/мин до 310 °C, выдержка при 310 °C – 20 мин.

По гранулометрическому составу выделены фракции размерностью до 1,25 мм. В их составе преобладает псаммитовая фракция, содержание которой составляет от 31 до 91 %. Менее распространены пелитовая (до 53 %) и алевритовая (от 3 до 15 %) фракции. Согласно классификации осадочных обломочных горных пород, образцы представлены преимущественно крупнозернистыми песками, реже глинами. По данным гранулометрии построены кумулятивные кривые, рассчитан коэффициент отсортированности, изменяющийся в пределах 1,6-3,98, свидетельствующий о хорошей сортировке обломочного материала у песков.

По минералогическому составу отложения разреза относятся к аркозовым грауваккам. В качестве породообразующих компонентов в них отмечаются зерна кварца (прозрачные, неокатанные, местами с железистыми налетами и пленками, присутствуют в количестве от 5 до 25%), плагиоклазов (выветрелые неокатанные, до 10-30%), обломки горных пород (сланцев, диабазов, габбро, до 40-60 %). Пески обогащены (до 15-20%) хлоритом и слюдами: сильно выветрелыми и серицитизированными разностями мусковита и хлоритизированными зернами биотита. Акцессорные минералы составляют до 5%, образуют преимущественно роговообманково-пироксеновую ассоциацию из неокатанных зерен роговой обманки и пироксенов (розовато-коричневый авгит, зеленовато-черный диопсид), отмечаются гранаты альмандинового ряда, сфен, эпидот. Из рудных минералов присутствует ильменит, обладающий магнитными свойствами, черным цветом и ярким металлическим блеском. Повсеместно отмечается наличие хитиновых остатков современных насекомых.

Содержание  $\delta^{13}\text{C}$  в исследуемых образцах варьирует в широких пределах (от -23,60 до -28,00 ‰) (табл.).

Таблица

Геохимические коэффициенты и данные Rock-Eval анализа осадочного материала

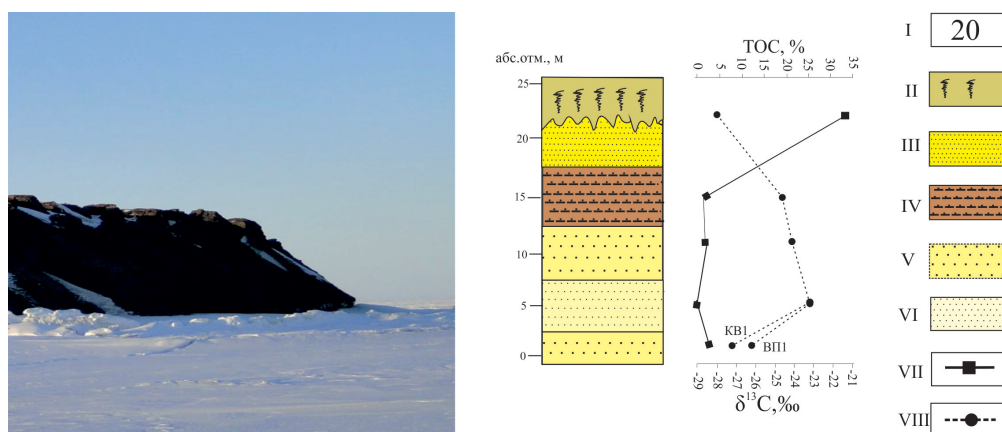
| № образца | Параметры Rock-Eval |          |          |             |          |          |             |
|-----------|---------------------|----------|----------|-------------|----------|----------|-------------|
|           | S1, мг/г            | S2, мг/г | S3, мг/г | TOC, % мас. | HI, мг/г | OI, мг/г | MinC, %мас. |
| 21,5      | 36,13               | 104,94   | 70,34    | 34,15       | 307      | 206      | 1,61        |
| 20        | 5,20                | 15,74    | 6,78     | 5,35        | 294      | 127      | 0,22        |
| 15        | 0,19                | 2,21     | 3,26     | 2,02        | 109      | 161      | 0,18        |
| 11        | 0,13                | 1,39     | 2,62     | 1,72        | 81       | 152      | 0,15        |
| 5         | 0,02                | 0,14     | 0,99     | 0,96        | 15       | 103      | 0,11        |
| ВП1       | 0,57                | 5,14     | 4,30     | 2,75        | 187      | 156      | 0,17        |
| KB1       | 0,50                | 3,84     | 4,67     | 2,94        | 131      | 159      | 0,22        |

| № образца | $\delta^{13}\text{C}$ , ‰ | Геохимические коэффициенты, рассчитанные на основе ХМС данных |       |      |      |      |
|-----------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|-------|------|------|------|
|           |                           | Pr/Phy                                                        | $K_i$ | A/B  | C/D  | CPI  |
| 21,5      | -28,00                    | 1,30                                                          | 0,50  | 0,19 | 0,16 | 6,94 |
| 20        | -27,20                    | 0,78                                                          | 0,27  | 0,28 | 0,07 | 7,17 |
| 15        | -24,30                    | 1,20                                                          | 0,34  | 0,18 | 0,06 | 9,19 |
| 11        | -24,30                    | 1,01                                                          | 0,47  | 0,31 | 0,15 | 7,55 |
| 5         | -23,60                    | 0,38                                                          | 0,52  | 0,44 | 0,03 | 3,94 |
| ВП1       | -26,20                    | 1,02                                                          | 0,30  | 0,34 | 0,07 | 6,66 |
| KB1       | -27,60                    | 1,31                                                          | 0,36  | 0,22 | 0,08 | 7,18 |

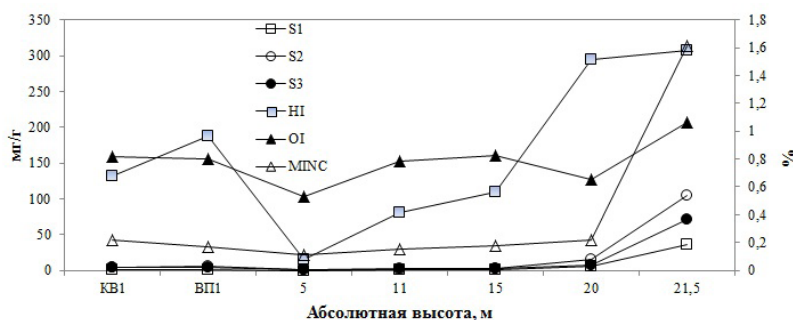
**Примечание:** A/B – отношение суммы площадей пиков n-алканов по четной огибающей к сумме площадей пиков высокомолекулярных n-алканов – маркеров высшей наземной растительности по m/z 57; C/D – отношение суммы площадей пиков низкомолекулярных n-алканов к сумме пиков высокомолекулярных алканов по четной огибающей по m/z 57,  $K_i = (\text{Pr} + \text{Phy}) / (nC_{17} + nC_{18})$ ; Pr – пристан; Phy – фитан;  $\text{CPI} = 0,5 * [(C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}) / (C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32}) + (C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}) / (C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34})]$ ; TOC – total organic carbon (количество органического углерода), % мас.; S1 – количество летучих (300 °C) органических соединений, мг/г породы; S2 – количество летучих продуктов деструкции органического вещества, мг/г породы; HI – S2 x 100/TOC, мг продуктов деструкции / г органического углерода; MinC – содержание минерального углерода, % мас.

Количество летучих органических соединений (количественно равное экстрагируемой части органического вещества породы – параметр S1) в осадках невелико по сравнению с продуктами деструкции органического вещества (параметр S2). Таким образом, можно заключить, что основная масса органического вещества представлена высокомолекулярными нелетучими соединениями – био-геополимерами (табл.).

По полученным данным построена литологическая колонка разреза мыса Муостях (рис. 1, А и Б) и рассчитаны зависимости распределения органического вещества (TOC) и изотопного состава органического углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) (рис. 1, В).



**Рис. 1. Распределение общего содержания и изотопного состава органического углерода по разрезу ледового комплекса мыса Муостях: А – фотография побережья, где отбирались пробы; Б – литологическая колонка; В – общее содержание органического углерода (ТОС, %) и изотопный состав проб ( $\delta^{13}\text{C}$ , ‰). Условные обозначения: I – абсолютная высота над уровнем моря, м; II – дерново-торфяной покров; III – песок мелкозернистый; IV – алевроит пелитовый; V – песок крупнозернистый; VI – песок среднезернистый. VII – распределение общего содержания органического углерода (ТОС, %); VIII – распределение изотопного состава органического углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ , ‰)**



**Рис. 2. Изменение исследуемых параметров по разрезу**

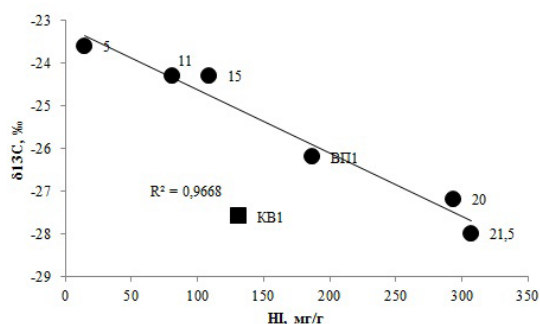


Рис. 3. Зависимость водородного показателя от изотопного состава осадков

Образец, отобранный на абсолютной отметке (а. о.) 5,0 м, характеризуется максимальными значениями параметров A/B и K<sub>i</sub> и минимальным значением CPI (рис. 4 и 5, табл.), что свидетельствует о высокой степени преобразования органического вещества. В составе органического вещества этого образца отсутствуют алкены, тогда как на остальных горизонтах они присутствуют, в том числе в породах волноприбойной ниши. Накопление органического вещества происходило в восстановительных условиях

(рис. 4). Отсутствие алкенов, а также минимальное значение параметра C/D, характеризующего вклад низкомолекулярных алканов, по-видимому, свидетельствуют о минимальной бактериальной активности на этом уровне клифа.

Образцы, отобранные на а. о. 5 и 11 м, представлены песчаниками средне- и крупнозернистыми, накопление которых, происходило в условиях волноприбойной зоны. По всей видимости, при понижении уровня моря, имело место интенсивное окисление ОВ осадков, которое привело к потере в его составе насыщенных структурных фрагментов. Минимальные значения пика S2 (табл.) говорят о наличии конденсированных структур в составе органического вещества.

В целом можно заключить, что чередование литологических типов отложений в разрезе, сопровождающееся изменением состава органического вещества, вероятно, объясняется колебаниями уровня моря в период осадкообразования, а также изменением состава осадочного материала, вызванного сменой источников. Значения δ<sup>13</sup>C в пробах, отобранных в интервале 0-15 м, указывает на смешанный генезис ОВ с преобладанием морской составляющей.

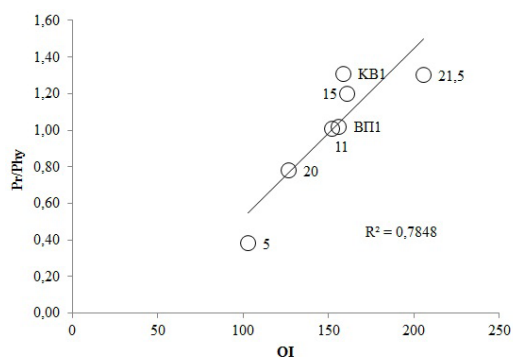


Рис. 4. Линейная зависимость параметров пристан/фитан (Pr/Phy) и кислородного индекса (OI)

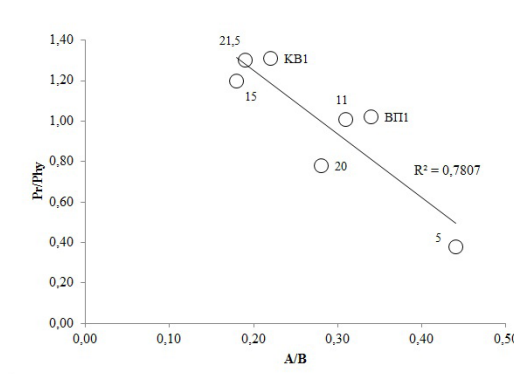


Рис. 5. Взаимосвязь параметров пристан/фитан и A/B

Графики зависимостей, представленные на рисунках 3, 4 и 5 показывают очень хорошую сопоставимость полученных результатов разными методами исследования (Rock-Eval и ХМС), что обусловлено особенностями состава органического вещества на молекулярном и изотопном уровнях. В свою очередь, они отражают комплекс биохимических и химических процессов, сопровождающих превращение органического вещества (ОВ) на различных стадиях, начиная от раннего диагенеза и заканчивая разрушением ОВ при выходе пород на дневную поверхность.

#### Литература

1. Арэ Ф.Э. Развитие рельефа термоабразионных берегов // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1968. – № 1. – С. 151 – 162.
2. Семилетов И.П. Разрушение мерзлых пород побережья как важный фактор биогеохимии шельфовых вод Арктики // Доклады Академии наук, 1999. – Т. 368. – № 5. – С. 679 – 682.
3. Шахова Н.Е., Семилетов И.П., Сергиенко В.И., Дударев О.В., Бельчева И.И., Космач Д.А. Состояние вопроса о роли Восточно-Сибирского шельфа в современном цикле метана // Изменение окружающей среды и климата. Природные катастрофы / Под ред. В.М. Котлякова. – М.: Изд-во «Пробел», 2008. – С. 164 – 176.
4. Perevertaylo T.G., Nedolivko N.M., Kazhumukhanova M.Z. Features of lithological and granulometric composition of bottom sediments in the northern part of Laptev Sea (Article number 012007) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2016. – Vol. 43. – 5 p.
5. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. Methane from the East Siberian Arctic Shelf-Response // Science, 2010. – Vol. 329 (5996). – P. 1147 – 1148.
6. Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V. The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice // Philosophical transactions of the royal society, 2015. – №373. – P. 1471 – 2962.5.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (проект № 14.250.31.0012).