

содержания метана и углекислого газа можно судить о периодичности и объемах газовых вулканических выбросов, также метан и его гомологи, углекислый газ, сероводород и азот выступают в качестве основных компонентов ГГ.

Литература

1. Виноградова О. Наступление на Черное море // Нефтегазовая вертикаль, 2011. – №9. – С. 70 – 74.
2. Гридин В.А., Голованов М.П., Долинский И.Г. Перспективы нефтегазоносности российских секторов Черного и Азовского морей // Поиски и разведка серия «Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений», 2007. – №5. – С. 25 – 27.
3. Зорькин Л.М. Генезис газов подземной гидросферы (в связи с разработкой методов поиска залежей углеводородов) // Геоинформатика, 2008. – №1. – С. 45 – 53.
4. Круглякова Р.П., Круглякова М.В., Шевцова Н.Т. Геолого-геохимическая характеристика естественных проявлений углеводородов в Черном море // Геология и полезные ископаемые Мирового океана, 2009. – №1. – С. 37 – 51.
5. Леончик М.И., Сенин Б.В., Хортов А.В. Перспективы газоносности кайнозоя Черного моря // Вести газовой науки, 2015. – №2 (22) – С. 54 – 69.
6. Попов В.В., Шканов В.В. Черноморская шельфовая нефть. Изыскания, извлечение, транспортировка // Transport business in Russia, 2016. – №. – С. 105 – 108.
7. Юровский Ю.Г. Подземные воды шельфа. Задачи и методы изучения. – Симферополь: ДИАИПИ, 2013. – 260 с.

**МЕХАНИЗМЫ НАКОПЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ШЕЛЬФА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ: ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ROCK-EVAL**

**И.А. Оберемок**

Научный руководитель доцент Е.В. Гершелис

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В настоящее время установлено, что глобальные климатические изменения и, как следствие, тренд на повышение средней температуры провоцируют увеличение скорости деградации наземной и подводной мерзлоты в арктическом регионе. Огромное количество законсервированного органического углерода (ОУ) высвобождается и вовлекается в современный биогеохимический цикл. В частности, поступление дополнительных объемов ОУ, мобилизованного в процессе разрушения берегового ледового комплекса, приводит к подкислению вод арктического бассейна, а также вносит немалый вклад в усугубление парникового эффекта в результате трансформации ОУ до CO<sub>2</sub> [5].

Шельф морей Восточной Арктики, представленный морем Лаптевых, Восточно-Сибирским морем, а также российской частью Чукотского моря, уникален тем, что занимает огромные площади (>2·10<sup>6</sup> км<sup>2</sup>) и характеризуется небольшой средней глубиной (~ 50 м).

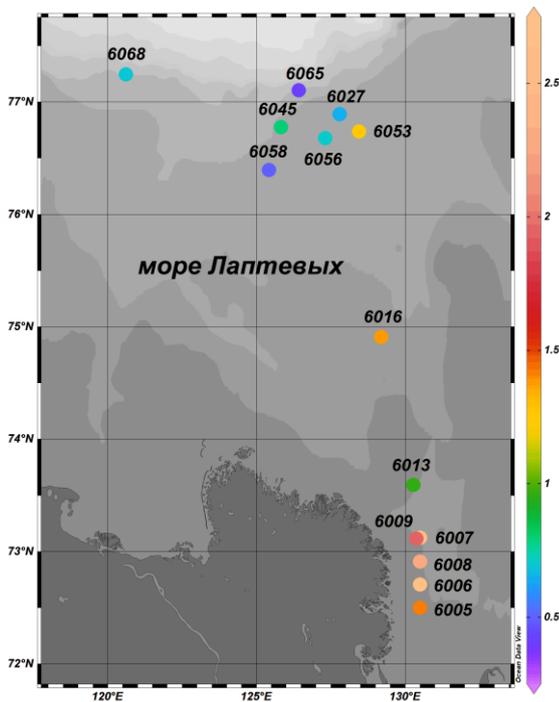
Море Лаптевых является гетеротрофной биогеохимической провинцией с низкой первичной продуктивностью, где основным источником ОУ служит эродированный береговой ледовый комплекс, при этом также значительный объем ОУ поступает с речным стоком реки Лены. В процессе транспорта в системе суша-шельф экспортируемое органическое вещество претерпевает аэробное биохимическое разложение, окисление до CO<sub>2</sub> или может быть перенесено в глубоководную часть Северного Ледовитого океана [4].

Цель работы – охарактеризовать современное органическое вещество донных осадков моря Лаптевых методом пиролиза Rock-Eval.

В работе анализируются 14 образцов донных осадков (горизонт 0-2 см), отобранных в экспедиции на борту научно-исследовательского судна «Академик Келдыш» в сентябре 2018 года. После отбора образцы хранились при температуре –18°С, затем были разморожены при комнатной температуре, высушены при +40°С и гомогенизированы вручную.

Исследуемый регион – от губы Буор-Хая (восточнее дельты р. Лены) до внешнего шельфа моря Лаптевых (рис. 1) – был взят для оценки динамики изменения количественного и качественного состава органического вещества (ОВ) от прибрежной зоны, где наиболее ярко прослеживается влияние эрозии берегового комплекса и речного стока до среднего шельфа, где сигнал наземного ОВ значительно снижается, и его доля замещается автохтонным ОВ.

Для выявления источника, характеристики состава и диагенетической преобразованности ОВ в донных осадках был применен широко используемый в нефтегазовой промышленности метод пиролиза, адаптированный



**Рис. 1** Содержание общего органического углерода (Total organic carbon – TOC), %

качественного состава органического вещества (ОВ) от прибрежной зоны, где наиболее ярко прослеживается влияние эрозии берегового комплекса и речного стока до среднего шельфа, где сигнал наземного ОВ значительно снижается, и его доля замещается автохтонным ОВ.

Для выявления источника, характеристики состава и диагенетической преобразованности ОВ в донных осадках был применен широко используемый в нефтегазовой промышленности метод пиролиза, адаптированный

под незрелые донные осадки (Пиролизатор «Rock-Eval 6 Turbo» компании VINCI Technologies. Температурная программа: старт нагрева образца – 180 °С, выдержка 10 мин, далее нагрев до 650 °С со скоростью 25 °С/мин.).

По данным анализа, содержание общего органического углерода (ТОС – total organic carbon) варьируется от 0,4 до 2,71 % (рис. 1) при генерации свободных низкомолекулярных углеводородов (летучих органических соединений)  $S_1$  от 0,11 до 0,73 мг/г осадка. Преимущественно более высокое процентное содержание ТОС и  $S_1$  приходится на прибрежную зону (> 1 % и > 0,4 мг/г соответственно). Пик  $S_1$  соответствует липидная составляющая органики [2]. Доля минерального углерода (MinC) существенно меньше, чем ТОС, и варьируется от 0,09 до 0,38%, причем корреляция между массивами ТОС и MinC близка к 1.

Содержание относительно термолabile соединений [2], обогащенных водородом – биополимеров ( $S_2$ ) – лежат в пределах 0,67-2,92 мг/г. Индекс диагенетической преобразованности ( $PI = S_1/(S_1+S_2) \cdot 100\%$ ), для исследуемых образцов лежит в диапазоне 11,22-21,39 %, со средним значением в 18%. В целом, данные значения указывают на большую степень диагенетической преобразованности [1].

Содержание керогеновой кислородосодержащей органики [2] или геополимеров ( $S_3$ ) зафиксировано в диапазоне от 1,18 до 5,4 мг/г.

Следовательно, доля липидной, экстрагируемой составляющей в общем выходе органики в среднем в 13 раз меньше, чем доля биополимеров осадка ( $S_2+S_3$ ) [3]. Корреляционная зависимость  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$  от ТОС близка к единице (0,98; 0,99; 0,99 соответственно).

Водородный индекс (HI) всех образцов выше 100 мг/г и колеблется в диапазоне от 103 до 181 мг/г, что свидетельствует о присутствии морской компоненты в составе органики донных осадков. Максимальные значения HI фиксируются в образцах, отобранных с внешнего шельфа. Следовательно, они характеризуются более восстановительным режимом обстановки осадконакопления, в отличие от прибрежных образцов, где интенсивная ресуспензия обеспечивает поступление кислорода в донные осадки.

Величина кислородного индекса (OI) лежит в пределах от 199 до 309 мг/г. График соотношения водородного и кислородного индексов (HI/OI), псевдодиаграмма Ван-Кревелена, представлен на рис. 2. По диаграмме, ОВ имеет планктоногенное происхождение (сходно со II типом керогена).

Диапазон отношения HI/OI колеблется в пределах от 0,45 до 0,67. Значения отношения меньше 0,5 относятся к высоко деградированному (окисленному) органическому веществу, а значения от 0,5 до 1 – к относительно окисленному ОВ [6]. Таким образом, донные осадки 79% образцов относительно окисленные, 21% – сильно окисленные.

Температура максимального выхода УВ в изученных образцах варьируется от 380 до 464 °С, что в 64% осадках выше, чем граница  $T_{peak}$  для современных осадков (<425°С) [1]. График зависимости  $T_{peak}/HI$  представлен на рисунке 3, он также даёт информацию о составе органики. Исследуемые образцы можно условно разделить на два кластера по диапазонам  $T_{peak}$ : 1) 380 – 395 °С и 2) 453 – 464 °С. Первый диапазон соответствует температурам деструкции полисахаридов и лигнина (маркер терригенного ОВ), второе температурное окно может указывать на доминирование гуминовых и фульвокислот в составе ОВ, аналогично работе [6].

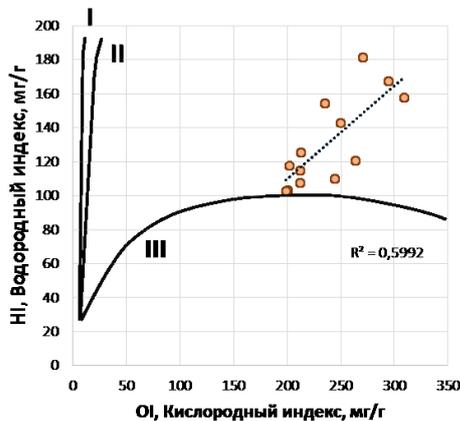


Рис. 2 Диаграмма зависимости водородного индекса от кислородного индекса (HI/OI). Маркерные линии согласно Stein and Macdonald, 2004 [7]

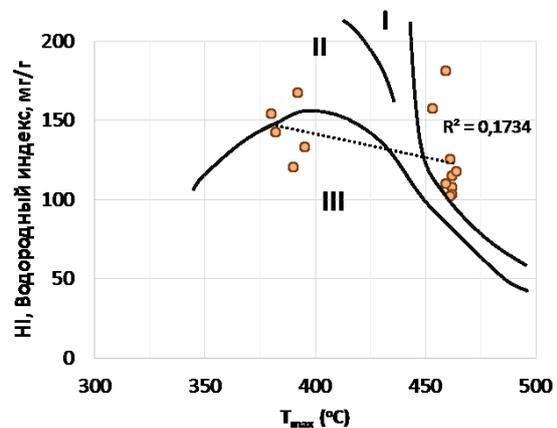


Рис. 3 Диаграмма зависимости водородного индекса от  $T_{max}$  (HI/ $T_{max}$ ). Маркерные линии согласно Stein and Macdonald, 2004 [7]

В ходе настоящего исследования была дана характеристика ОВ донных осадков моря Лаптевых методом пиролизической деструкции Rock-Eval. Данная работа является составляющей комплекса высокоточных и информативных геохимических методов, реконструирующих и дающих детальное понимание современного биогеохимического цикла углерода в Арктической среде.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда № 19-77-00067.

#### Литература

1. Гершелис Е.В. Геохимические особенности органического вещества донных осадков в морях Восточной Арктики: диссертация ... к.г.-м.н.: 25.00.09 / Гершелис Е.В. [Место защиты: ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»], 2018. – 143 с.

- Меленевский В.Н. и др. Диагенез органического вещества торфа по данным пиролиза Рок Эвал // Геохимия, 2019. – Т. 64. – № 2. – С. 206 – 211.
- Перевертайло Т.Г., Кажумуханова М.З., Недолилко Н.М. и др. Литологические особенности и органическое вещество осадочных отложений юго-восточной части моря Лаптевых (мыс Муостах) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов, 2019. – Т. 330. – № 2. – С. 224 – 235.
- Сафронова Н.С. и др. Углеводородные газы (C<sub>1</sub>–C<sub>5</sub>) и органическое вещество донных осадков Ивановского водохранилища реки Волги // Водные ресурсы, 2013. – Т. 40. – № 2. – С. 1 – 13.
- Цикл углерода в морях Восточной Арктики на рубеже XX–XXI веков. Книга 1. Транспорт и трансформация углерода в системе «суша–шельф»: монография / И.П. Семилетов, О.В. Дударев, И.И. Пипко и др.; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – 536 с.
- Hare A.A. Characterization of sedimentary organic matter in recent marine sediments from Hudson Bay, Canada, by Rock-Eval pyrolysis / A.A. Hare [et al.] // Organic Geochemistry, 2014. – V. 68. – P. 52 – 60
- Stein R. Organic carbon budget: Arctic Ocean vs. Global Ocean / R. Stein and R.W. Macdonald // In: The organic carbon cycle in the Arctic Ocean. – Eds. R. Stein and R.W. Macdonald. – Berlin: Springer-Verlag, 2004. – P. 315 – 322.

## ТИПЫ РАЗРЕЗОВ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ НЕФТЕНОСНОСТИ В ОБЬ-ЮГАНСКОМ МЕЖДУРЕЧЬЕ

П.В. Обухов

Научный руководитель научный сотрудник М.А. Фомин  
Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

Изучение баженовской свиты Западно-Сибирского осадочного бассейна началось еще в середине XX века. Одно из таких исследований было проведено Брадучаном Ю.В. и др. [1].

В работе были уточнены границы распространения различных типов разрезов баженовской свиты. На исследуемой территории их выделяют три: салымский, нижевартовский и вахский.

Автором выполнено расчленение разрезов верхней юры материалам ГИС в 329 скважинах (рис.). В комплекс ГИС вошли следующие виды каротажа: электрический каротаж (метод потенциалов самопроизвольной поляризации – ПС, кажущегося сопротивления – КС, бокового каротажа – БК), метод индукционного каротажа – ИК, кавернометрия – КВ, метод акустического каротажа – АК, радиоактивные методы (метод гамма-каротажа – ГК, метод нейтронного гамма-каротажа – НГК, метод гамма-гамма-каротажа – ГГК). В ИНГГ СО РАН в 2014-2016 гг. проводились комплексные аналитические исследования керн баженовской свиты, в результате которых были аналитически установлены кровля и подошва этих отложений.

Эти скважины (Горстовая 91, Полонская 1, Толпаровская 2, Ледовая 8) были взяты в качестве эталонных для выделения баженовской свиты по ГИС. Для проверки результатов интерпретации ГИС также были использованы результаты определения микро- и макрофауны позднеюрского возраста.

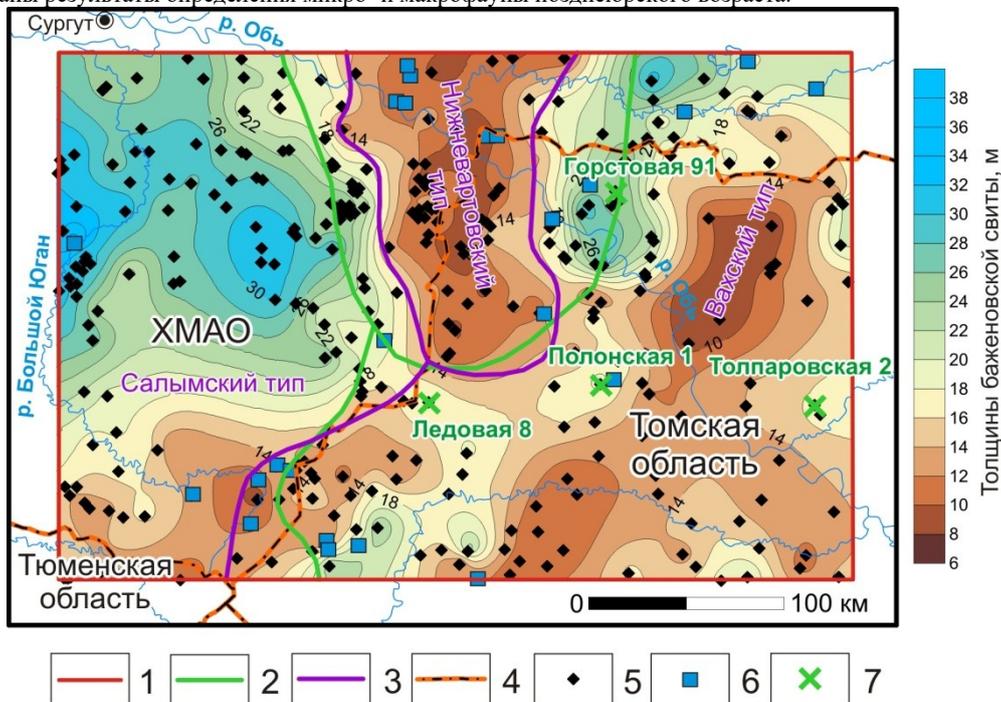


Рис. Карта толщин баженовской свиты: 1 – район исследования; 2 – границы типов разрезов баженовской свиты, по Брадучану Ю.В. [1]; 3 – уточненные границы типов разрезов; 4 – административные границы; 5 – скважины, в которых автором проинтерпретирован комплекс ГИС; 6 – скважины с определениями фауны; 7 – скважины с отбором керн