

УДК 553.98:550.84

ГОЛОЦЕНОВЫЕ МЕТАНОВЫЕ ЭМИССИИ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ (НА ОСНОВЕ ИЗОТОПОВ УГЛЕРОДА В РАКОВИНАХ БЕНТОСНЫХ ФОРАМИНИФЕР)

С. П. Плетнев^{1,*}, А. В. Романова², Ву Юньхуа³,
В. К. Аннин¹, И. В. Уткин¹, О. Ф. Верещагина¹

Представлено академиком РАН П.Я. Баклановым 05.02.2018 г.

Поступило 19.02.2018 г.

Выделены негативные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ в кальците раковин бентосных фораминифер в колонке LV50-05, отобранной в районе активных метановых сипов на восточном склоне острова Сахалин в Охотском море. На основе биостратиграфии, $\delta^{13}\text{C}$, AMS C^{14} -датировки в исследуемом районе установлены метановые события (МС) и метановые эмиссии (МЕ) в голоцене: МС-1 (700–900 лет); МС-2 (1200–1400 лет), МЕ-3 (2500–5400 лет) и МЕ-4 (7400–10000 лет).

Ключевые слова: бентосные и планктонные фораминиферы, изотопный состав кислорода и углерода, метан и матенные эмиссии, Охотское море.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5652488191-93>

В местах выхода метана на поверхность дна (в сипах), а также при его диффузном просачивании через осадки, возникают своеобразные подводные экосистемы, в которых поровые воды и живые организмы обеднены тяжёлым изотопом углерода C^{13} [1]. Поэтому соотношения изотопов C^{13} и C^{12} в ископаемых фораминиферах (простейших организмов), живших в условиях длительного существования метановых сипов, могут отражать их динамику во времени. Как результат, изучение изотопного состава ископаемых фораминифер позволило Дж. Кеннету заявить, что начало последнего потепления было связано с увеличением концентрации метана в атмосфере [2]. К настоящему времени количество как изученных геологических разрезов в местах метановых эмиссий, так и полученных сведений об истории последних, всё ещё недостаточно для признания или отрицания подобной гипотезы.

Важным районом для изучения газогидратов является подводный склон северо-восточного Сахалина. Низкий температурный режим, высокие скорости осадконакопления и большие потоки $\text{C}_{\text{орг}}$.

обеспечили здесь благоприятные условия для образования газогидратов в ледниковые эпохи плейстоцена. Поэтому в этот район были направлены многочисленные международные экспедиции с целью изучения метановых полей в воде и осадках [3]. В основу предлагаемого сообщения положены материалы, полученные в экспедиции 50-го рейса нис “Академик Лаврентьев” (2010 г.). Они касаются оценки метановых потоков в голоцене, установленных по изотопии раковин бентосных фораминифер на примере колонки LV50-05.

Данная колонка отобрана с глубины 785 м в точке с координатами $53^{\circ}22,436'$ с.ш. и $144^{\circ}32,197'$ в.д. Её длина составляет 500 см. Она представлена в основном алевропелитовым и диатомовым илом (см. рис. 1). Ниже 400 см встречены рассеянные аутигенные карбонатные конкреции и прослой из них (430–450 см). Образцы отбирались через 10 см. В ряде проб карбонатные раковины отсутствовали из-за растворения, что отразилось на полноте изотопных данных. Основание осадочного разреза датировано ранним голоценом (около 10 000 лет назад). Возраст обоснован четырьмя датами абсолютного возраста и лито- и биостратиграфическими данными. Определение AMS C^{14} проводилось по раковинам фораминифер вида *Uvigerina parvocostata* в Океанографическом институте Вудс-Холла (США), а измерение $\delta^{13}\text{C}$ – в университете Тонджи (Шанхай, КНР). Для выявления негативных экскурсов $\delta^{13}\text{C}$ были выбраны *Nonionellina (N.) labradorica* и *U. parvocostata* как одни из наиболее толерантных

¹ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток

² Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской Академии наук, Владивосток

³ Первый институт Океанографии, Циндао, Китай
* E-mail: pletnev@poi.dvo.ru

видов к метановым сипам видов в исследуемом районе [4].

Негативные сдвиги $\delta^{13}\text{C}$ ископаемых раковин *N. labradorica* и *U. parvocostata* (от $-1,4$ до -34‰) намного превышают их фоновые значения в живых раковинах (от -1 до -2‰). Эти минимумы должны быть прямо или косвенно связаны с повышением концентрации метана в среде. Временные интервалы в колонке с минимумами $\delta^{13}\text{C}$ обозначены нами как Метановые События (МС). Они разделены фоновыми значениями $\delta^{13}\text{C}$. Природа минимумов $\delta^{13}\text{C}$ определяется записью изотопного сигнала во время жизни [5] и дополнительным сигналом $\delta^{13}\text{C}$ в период обрастания первичной раковины метано-производным карбонатом [6]. Второй сигнал часто перекрывает и намного превосходит по величине первичную запись.

Прижизненный изотопный сигнал $\delta^{13}\text{C}$ во время метановых событий менялся в пределах значений для *U. parvocostata* от $-1,4$ до $-1,6\text{‰}$, а для *N. labradorica* от $-2,0$ до $-3,0\text{‰}$. Эти пороговые величины получены согласно [4] путём вычитания

$0,5\text{‰}$ из фоновых значений живых раковин этих видов в исследуемом районе [4]. Влияние других океанографических факторов на $\delta^{13}\text{C}_{\text{раковин}}$ было незначительным. Условия, близкие к современным, установились около 10 000 лет назад и существенно не менялись за это время.

Наиболее показательны вариации $\delta^{13}\text{C}$ для вида *N. labradorica*. Её негативные экскурсы отмечены на уровне 40–45 ($-2,5\text{‰}$) и 70–75 см ($-2,8\text{‰}$). Их значения входят в указанный выше предел $\delta^{13}\text{C}$ живой записи этого вида. Поэтому эти экскурсы и маркируют две кратковременные эмиссии (МЕ-1 и МЕ-2). Величины $\delta^{13}\text{C}$ для *N. labradorica* в МЕ-3 и МЕ-4 в 4–6 раз ниже фоновых значений и отражают, прежде всего, дополнительный сигнал во время вторичной кальцификации ископаемых раковин.

Результаты $\delta^{13}\text{C}$ вида *U. parvocostata* хорошо дополняют данные по *N. labradorica*. Живые отклики для *U. parvocostata* (от $-1,4$ до $-1,6\text{‰}$) подтверждают не только существование МЕ-1 и МЕ-2, но и фиксируют их в МЕ-3 (на 120, 220, 250–280 см). Дис-

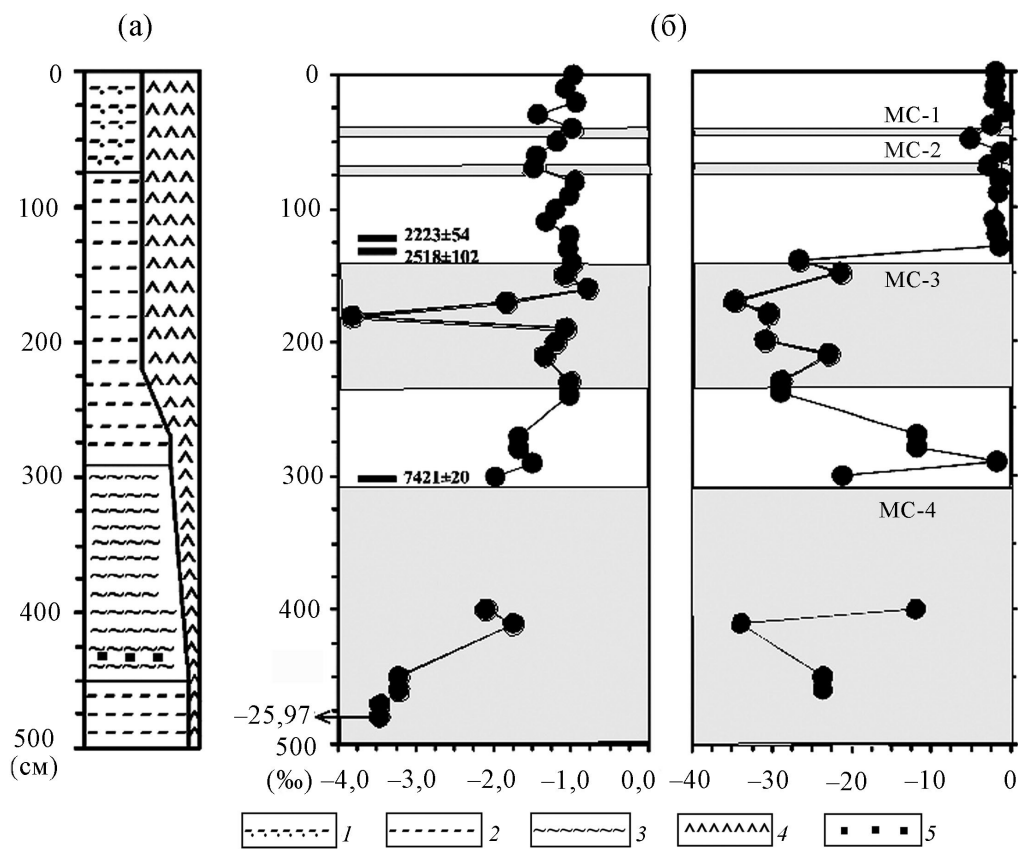


Рис. 1. Литология (а), (б) — изменение $\delta^{13}\text{C}$ в составе раковин бентосных фораминифер, даты АМС ^{14}C и метановые события (тёмный фон) в колонке LV50-05. Условные обозначения: 1 — пелит алевроитовый, 2 — алевроитовый пелит, 3 — пелит, 4 — диатомовый ил, 5 — карбонатные конкреции, МС — метановые события.

кретность минимумов $\delta^{13}\text{C}$ для этого вида в МЕ-3 свидетельствует о периодических эмиссиях метана в это время. В МЕ-4 изотопный сигнал вторичной кальцификации *U. parvocostata labradorica* перекрывает её “живую” запись и достигает своего минимума $\delta^{13}\text{C}$ ($-26,0\%$) в слое 490–495 см.

Большая разница в амплитуде значений $\delta^{13}\text{C}$ двух видов связана с разными условиями их обитания. Эндобионтный вид *N. labradorica* живёт глубже в осадке, чем эпибионтная *U. parvocostata*, где на него оказывают большее влияние поровые воды с пониженными значениями $\delta^{13}\text{C}$. Кроме того, последняя и полая камера *N. labradorica* занимает половину всей раковины и, вероятно, служит благоприятным местом для отложения метано-производного карбоната.

Анализ изотопов углерода разных видов фораминифер в сочетании с датами АМС ^{14}C и биостратиграфическими данными позволяет определить четыре интервала $\delta^{13}\text{C}_{\text{min}}$ в исследуемой колонке. Они по времени соответствуют метановым событиям: МЕ-1 (900–700 лет), МЕ-2 (1400–1200 лет), МЕ-3 (4700–2500 лет) и МЕ-4 (10000–7400 лет).

Таким образом, полученные нами результаты указывают на перспективность дальнейшего изучения изотопов углерода в раковинах фораминифер для регистрации метановых событий, имевших место в палеогеографической летописи Охотского моря. Вид *U. parvocostata* позволяет, прежде всего, установить время и продолжительность метановых событий, а вид *N. labradorica* — процессы образования метано-производного карбоната.

Источник финансирования. Работа выполнена по госзаданию, регистрационный номер АААА–А17–117030110035–4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Levin I.A. Ecology of Cold Seep Sediments: Interactions of Fauna with Flow, Chemistry and Microbes // *Oceanogr. Mar. Biol.* 2005. V. 43. P. 1–46.
2. Kennett J., Cannariato K., Hendy I., Behl R. Carbon Isotopic Evidence for Methane Hydrate Instability During Quaternary Interstadials // *Science*. 2000. V. 288. P. 128–133.
3. Обжиров А.И. Международная научная экспедиция в Охотском море (рейс 56, август 2011) // *Вестн. ДВО РАН*. 2011. № 6. С. 124–128.
4. Плетнев С.П., Аннин В.К., Юньхуа Ву, Тарасова Т.С. Фораминиферы и изотопия ($\text{O}^{16}/\text{O}^{18}$ и $\text{C}^{12}/\text{C}^{13}$) их раковин в местах выхода метана на восточном склоне о. Сахалин (Охотское море) // *Изв. ТИНРО*. 2014. № 178. С. 180–190.
5. Sen Gupta B.K., Platon E., Bernhard J.M., Aharon P. Foraminiferal Colonization of Hydrocarbon-seep Bacterial Mats and Underlying Sediment, Gulf of Mexico Slope // *J. Foram. Res.* 1997. V. 27. № 4. P. 292–300.
6. Torres M.E., Martin R.A., Klinkhammer G.P., Nesbitt E.A. Post Depositional Alteration of Foraminiferal Shells in Cold Seep Settings: New Insights from Flow-Through Times-resolved Analyses of Biogenic and Inorganic Seep Carbonates // *Earth and Planet. Sci. Lett.* 2010. V. 299. P. 10–22.

HOLOCENE METHANE EMISSIONS IN THE SOUTH-WESTERN PART OF THE OKHOTSK SEA (ON THE BASIC OF CARBON ISOTOPES IN THE TESTS OF BENTHIC FORAMINIFERA)

S. P. Pletnev¹, A. V. Romanova², Yonghua Wu³,
V. K. Annin¹, I. V. Utkin¹, O. F. Vereshchagina¹

¹ V.I. Ilishev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok

² Far-Eastern geological institute Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok

³ First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao, China

Presented by Academician of the RAS P.Ya. Baklanov February 5, 2018

Received February 19, 2018

We report several negative carbon stable isotope excursions in benthic foraminifera in a gas-bearing core LV50-05, collected from an area of active methane venting on the Eastern Slope of Sakhalin Island, the Okhotsk Sea. Within the study area, four methane events (ME) are established in Holocene: short-term ME-1 (700–900 yr BP) and ME-2 (from 1200 to 1400 yr BP), long-term ME-3 (2500–4700 yr BP) and ME-4 (7400–10000 yr BP).

Keywords: benthic and planktonic foraminifera, oxygen and carbon isotope composition, methane and methane emissions, Sea of the Okhotsk.