

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ МЕТАНА И ИНТЕНСИВНОСТИ СУЛЬФАТРЕДУКЦИИ В ДОННЫХ ОСАДКАХ СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ (ЧЁРНОЕ МОРЕ)

Т. В. Малахова¹, Т. А. Канапацкий², И. Г. Сидоров¹, Л. В. Малахова¹,
В. Ю. Проскурнин¹, Н. В. Пименов²

¹ Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, РФ,
t.malakhova@imbr-ras.ru

² Институт микробиологии им. С. Н. Виноградского РАН, Москва, РФ

В последнее время большой интерес вызывают закономерности формирования и распределения метана в воде и донных отложениях прибрежных районов морей. Это связано со средообразующими свойствами метана и его значимостью как парникового газа. В работе представлено содержание CH_4 , скорость микробной сульфатредукции в донных осадках прибрежных районов Чёрного моря в зимний и весенний сезоны 2016 г., а также измеренная радиотрассерным методом доля биогенного вещества в осаждающемся материале. Установлено, что в зимний сезон на всех станциях Севастопольской бухты, за исключением района Инкерманской бухты, интегральное содержание метана в верхнем 20-сантиметровом слое донных осадков было выше по сравнению с весенним сезоном. На станциях у Равелина, Павловского мыса и на внешнем рейде Севастополя это может быть связано с уменьшением поступления биогенного вещества в донные отложения. Максимальная интегральная скорость сульфатредукции, составившая $8,96 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$, определена в мае на внешнем рейде, что в 2 раза превышало февральские значения. Исследования демонстрируют сложный характер динамики осадконакопления, связанный с его высокой сезонной и пространственной изменчивостью.

Ключевые слова: метан, сульфатредукция, биогенное осадконакопление, Севастопольская прибрежная акватория, Чёрное море

Ранний диагенез в морских осадках является процессом комбинации различных биогеохимических реакций, в результате которых осаждающееся органическое вещество минерализуется и частично преобразуется в биогенные газы: CH_4 , CO_2 и H_2S . Микробная сульфатредукция (СР) и метаногенез имеют особое значение в связи с их доминирующей ролью в процессе реминерализации органического вещества в анаэробных условиях морских осадков [1]. Согласно [2], в прибрежных мелководных районах более 50 % от осаждаемого органического вещества переходит в зону метаногенеза. Часть метана, синтезируемого в анаэробной зоне, окисляется аэробными микроорганизмами - метанотрофами, населяющими как поверхностный окисленный слой донных осадков, так и водную толщу [3]. В анаэробной зоне осадочных отложений окисление метана происходит при участии консорциума сульфатредуцирующих бактерий и метанотрофных архей в т. н. зоне перехода от сульфатных к метановым илам (SMT-зона) и является существенным барьером для поступления метана в водную толщу и атмосферу [4]. Тем не менее, в серии работ показано, что значительная часть метана, продуцируемого в мелководных осадках высокопродуктивных прибрежных районов, выходит в виде флюидных и струйных газовыделений в водную толщу и затем в атмосферу, где присоединяется к пулу парниковых газов [5–7].

Цель данной работы заключалась в установлении сезонных различий содержания CH_4 и скорости микробной СР в донных осадках прибрежных районов.

Полевые исследования проводились в феврале и мае 2016 г. с мотобота «Вяземский» на 5 станциях в прибрежной акватории г. Севастополя, отличающихся скоростями седиментации (табл. 1).

Табл. 1 Координаты станций отбора проб донных отложений; глубина (Н), м; скорость седиментации (СС), мм·год⁻¹ [8]; доля осаждающегося биогенного вещества, %; интегральное содержание метана (ммоль·м⁻²) и интегральные скорости СР (ммоль·м⁻²сут⁻¹) в 20-см слое в феврале и мае 2016 г.

Станция	Координаты, с. ш., в. д.	Н, м	СС [8], мм·год ⁻¹	Доля биогенного вещества, %		СН ₄ , ммоль·м ⁻²		СР, ммоль·м ⁻² сут ⁻¹	
				февраль	май	февраль	май	февраль	май
ст. Внешний рейд	44° 37.1 33° 28.9	20	2,3	77	58	0,21	0,15	4,32	8,96
ст. Равелин	44° 37.5 33° 31.3	14	3,3	77	75	0,44	0,19	—*	3,55
ст. Павловский мыс	44° 37.1 33° 32.1	14	2,4	70	57	229	29	1,42	3,92
ст. Голландия	44° 37.2 33° 33.7	11	4,6	26	59	424	350	6,2	3,89
ст. Инкерман	44° 36.4 33° 36.0	5	9,3	60	55	0,95	7	6,59	3,55

* – измерения не проводились

Отбор проб донных осадков проводили трубчатым геологическим пробоотборником, позволяющим отбирать без нарушения структуры поверхностный слой донных осадков до 50 см. Содержание метана в придонной воде и донных отложениях измеряли методом фазово-равновесной дегазации на газовом хроматографе HP 5890 с пламенно-ионизационным детектором. Содержание сульфат-иона в поровых водах осадков измеряли на ионном хроматографе «Стайер» (Россия). Скорость СР измеряли радиоизотопным методом по описанным ранее методикам [9]. Доля биогенного вещества в донных отложениях определялась по содержанию в них долгоживущего природного радионуклида ⁴⁰К в соответствии с методикой, предложенной нами ранее в работе [8].

Сравнение профилей СН₄ в толще донных осадков в феврале 2016 г. (рис. 1а) позволило выделить 2 группы станций с низким и высоким содержанием метана. К первой группе относятся станции Внешний рейд, Равелин и Инкерман, где концентрации не превышали 10 ммоль·дм⁻³. Ко второй группе относятся станции Павловский мыс и Голландия, расположенные в центральной части Севастопольской бухты, где концентрации были на 3 порядка значений выше. Максимальная концентрация СН₄ была обнаружена на ст. Голландия в слое 25–28 см и составляла 3,4 ммоль·дм⁻³. Также этому слою соответствовала максимальная скорость СР – 44 ммоль·дм⁻³ ут⁻¹ (рис. 1б). На остальных станциях характер профилей СР в осадках отличался от ст. Голландия, где более высокие концентрации отмечались в поверхностных слоях и уменьшались с глубиной.

В мае на всех станциях, за исключением ст. Инкерман, содержание метана в донных осадках было ниже по сравнению с февралем (табл. 1, рис. 1в). В то же время в мае на ст. Внешний рейд, Равелин и Павловский мыс отмечено уменьшение доли осаждающегося биогенного вещества (табл. 1). Уменьшение концентрации CH_4 может быть связано с более интенсивными процессами окисления метана в верхних слоях осадка или со смещением зоны метаногенеза вглубь осадка.

Интегральные скорости СР в верхнем 20-см слое осадка для двух сезонов представлены в табл. 1. Максимальные значения измерены в мае на ст. Внешний рейд и составили $8,96 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$, что в 2 раза больше по сравнению с зимним сезоном. Аналогичная динамика отмечена для ст. Павловский мыс. Пик активности СР для этих станций в мае сместился вглубь осадка, тогда как в феврале он относился к верхним слоям (рис. 1б, г).

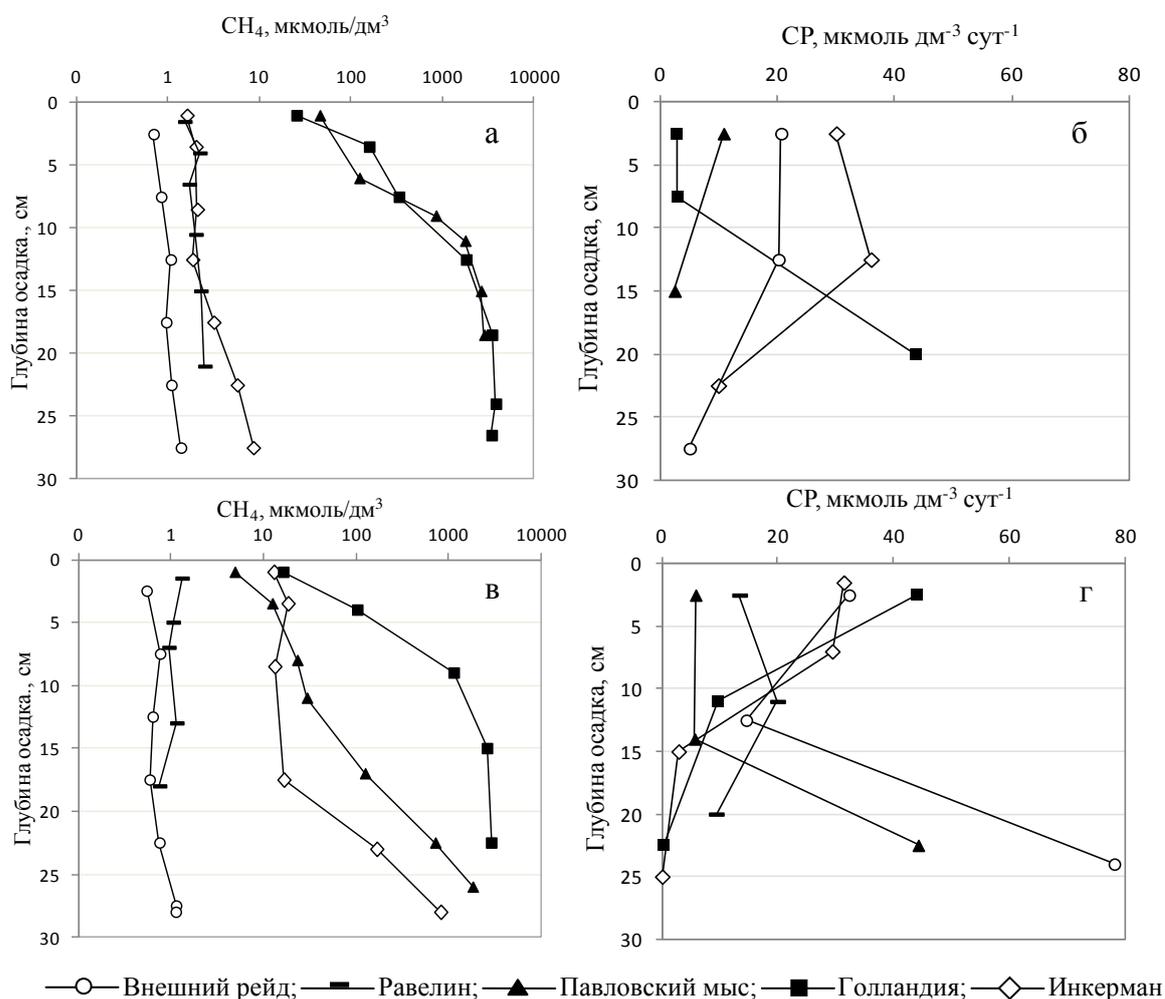


Рис. 1 Профили распределения метана и интенсивности СР в донных осадках (а и б – в феврале 2016 г.; в и г – в мае 2016 г. на 5 прибрежных станциях)

Таким образом, полученные результаты показали, что в зимний сезон на всех станциях Севастопольской бухты, за исключением района Инкерманской бухты, интегральное содержание метана в верхнем 20-см слое донных осадков было выше по сравнению с весенним сезоном. На станциях на внешнем рейде, у Равелина и Павловского

мыса это может быть связано с уменьшением доли осаждающегося биогенного вещества. Максимальная интегральная скорость сульфатредукции определена в мае на внешнем рейде. Тогда она составила $8,96 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$, что в 2 раза превышало февральские значения. Исследования демонстрируют сложный характер динамики осадконакопления, связанный с её сезонной изменчивостью.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 14-04-90400.

1. Pimenov N. V., Egorov V. N., Kanapatskii T. A., Malakhova T. V., Artemov Yu. G., Sigalevich P. A., Malakhova L. V. Sulfate Reduction and Microbial Processes of the Methane Cycle in the Sediments of the Sevastopol Bay // *Microbiology* – 2013. – Vol. 82. – No 5 – P. 618–627.
2. Jorgensen B. B., Bang M., Blackburn T. H. Anaerobic mineralization in marine sediments from the Baltic Sea-North Sea transition // *MEPS* – 1990. – Vol. 59. – P. 39-54.
3. Ivanov M. V., Pimenov N. V., Rusanov I. I., Lein A. Y. Microbial processes of the methane cycle at the north-western shelf of the Black Sea // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* – 2002. – 54. – P. 589–599.
4. Boetius A., Ravenschlag K., Schubert C. J., Rickert D., Widdel F., Gieseke A., Amann R., Jorgensen B. B., Witte U., Pfannkuche O. A marine microbial consortium apparently mediating anaerobic oxidation of methane // *Nature*. 2000. V. 407. № 5. P. 623–627.
5. Егоров В. Н., Пименов Н. В., Малахова Т. В., Канапатский Т. А., Артемов Ю. Г., Малахова Л. В. Биогеохимические характеристики распределения метана в воде и донных осадках в местах струйных газовыделений в акватории Севастопольских бухт. *Морський екологічний журнал*. 2012. – Т. XI. – № 3. – С. 41–52.
6. Malakhova T. V., Malakhova L. V., Pimenov N. V., Egorov V. N., Artemov Yu. G., Gulina S. B., Kanapatskiy T. A. The biogeochemical cycling of methane in the Sevastopol coastal area, Black Sea // *Edited Book : Methane in the Environment : Occurrence , Uses and Production* – 2013. – P. 61–79.
7. Малахова Т. В., Канапатский Т. А., Егоров В. Н., Малахова Л. В., Артёмов Ю. Г., Евтушенко Д. Б., Гулина С. Б., Пименов Н. В. Микробные процессы и генезис струйных метановых газовыделений прибрежных районов Крымского полуострова // *Микробиология*. – 2015. – 84, № 6. – С. 743–752.
8. Gulina S. B., Gulina L. V., Sidorov I. G., Proskurnin V. Yu., Duka M. S., Moseichenko I. N., Rodina E. A. 40K in the Black Sea: a proxy to estimate biogenic sedimentation // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2014. – 134. – P. 21–26.
9. Гальченко В. Ф. Сульфатредукция, метанобразование и метаноокисление в различных водоемах оазиса Бангер Хиллс, Антарктида // *Микробиология*. 1994. Т. 63. № 4. С. 388–396.

SEASONAL VARIABILITY OF METHANE CONTENT AND SULFATE REDUCTION INTENSITY IN THE SEDIMENTS OF SEVASTOPOL BAY (BLACK SEA)

T. V. Malakhova¹, T. A. Kanapatskii², I. G. Sidorov¹, L. V. Malakhova¹,
V. Yu. Proskurnin¹, N. V. Pimenov²

¹ Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Sevastopol, RF, t.malakhova@imbr-ras.ru

² Winogradsky Institute of Microbiology of RAS, Moscow, RF

Recently formation and distribution of methane in water and sediments of the coastal seas is of great interest due to environmental and climatic properties of methane. This paper presents a study on methane content and microbial sulfate reduction rate in the sediments of the Black Sea coastal areas in the winter and spring seasons, as well as biogenic fraction in sediment matter estimated using radio-tracer method. It was shown that integral methane content in the upper 20-cm layer of sediment was higher during the winter season compared with the spring season at all stations, except Inkerman. For 3 from 5 stations studied it could be due to decrease of biogenic sedimentation. The highest integral rates of sulfate reduction were measured in May at the out of bay station ($8.96 \text{ ммоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$) which was 2 times higher than in February. Our data have demonstrated the complexity of the sedimentation dynamics, because of its high seasonal and spatial variability.

Key words: methane, sulfate reduction, biogenic sedimentation, Sevastopol basin, Black Sea