

ОБЩАЯ
БИОЛОГИЯ

УДК 595.142.2:591.9+553.981.2

СИБОГЛИНИДЫ (*Annelida*, *Siboglinidae*) КАК ВОЗМОЖНЫЕ ИНДИКАТОРЫ
УГЛЕВОДОРОДОВ НА ПРИМЕРЕ ОХОТСКОГО МОРЯ

Н. П. Карасева¹, М. М. Ганцевич^{1,*}, А. И. Обжиров², Р. Б. Шакиров², А. В. Старовойтов¹,
Р. В. Смирнов³, член-корреспондент РАН В. В. Малахов¹

Поступило 29.11.2018 г.

Исследовали географическое и батиметрическое распределение сибоглинид в Охотском море. Более 75% всех находок сибоглинид обнаружили на глубине до 400 м. В основном эти находки были сосредоточены в северо-западной части шельфа. Сопоставление данных о распределении сибоглинид в Охотском море и обобщённых геологических данных о распространении углеводородов показало, что сибоглиниды в Охотском море находились преимущественно в областях углеводородных проявлений и отсутствовали в центральных районах, где в донных отложениях и в приповерхностном слое воды мы зарегистрировали минимальные значения концентрации метана и углеводородов.

Ключевые слова: Сибоглиниды, углеводороды, индикаторы, Охотское море.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524861127-130>

Сибоглиниды — своеобразная группа морских аннелид, лишённая пищеварительного тракта и живущая за счёт симбиоза с бактериями. По современным представлениям семейство *Siboglinidae* разделяется на четыре подсемейства: *Vestimentifera*, *Monilifera*, *Frenulata*, *Osedacinae*. Представители первых трёх подсемейств в качестве симбионтов имеют хемоавтотрофные бактерии. Представители семейства *Osedacinae* обитают на скелетах крупных позвоночных и имеют гетеротрофных симбионтов [1]. Представители подсемейства *Frenulata* имеют окисляющих метан симбионтов, симбионтов, окисляющих сульфиды, или и тех и других одновременно [2, 3]. Для представителей подсемейства *Vestimentifera* изначально предполагалось наличие только окисляющих сульфиды симбионтов [4]. Однако последние данные [5], полученные при исследовании нескольких представителей вестиментифер (*Riftia*, *Escarpia* sp. и *Lamellibrachia* sp. 2), свидетельствуют о том, что их симбионты способны к окислению и сульфида и метана. Представители монилифер, согласно одним данным, обладают симби-

онтами-метанотрофами [6], но другие исследования подтверждают наличие окисляющих сульфиды бактерий [3].

Следует отметить, что даже сибоглиниды, содержащие только окисляющие сульфиды симбионты, являются характерным компонентом сообществ, обитающих в местах углеводородных просачиваний. Это связано с тем, что в восстановительных условиях происходит микробиологическое окисление метана с участием сульфатов, в результате чего в толще осадка создаются высокие концентрации сероводорода, который служит источником энергии для сульфидокисляющих симбионтов сибоглинид. Сказанное позволяет предположить, что сибоглиниды, возможно, являются индикаторами углеводородных просачиваний.

В настоящей работе мы попытались подтвердить это предположение, сопоставив места распространения сибоглинид с районами углеводородных просачиваний в Охотском море.

Данные, положенные в основу настоящей работы, были собраны в Охотском море в ходе выполнения международных проектов КОМЕХ (1998–2004), СНАОС (2003–2006), SSGH I–II (2007–2015 гг.) в результате 40-, 42-, 45- и 48-го рейсов нис “Академик М.А. Лаврентьев” по региональным опорным профилям Магадан–Южные Курилы и Шантарские острова — Северные Курилы (2006–2009 гг.). Для сбора проб осадка использовали пробоотборники трёх типов: ударная прямооточная трубка (ПТ) длиной

¹Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

²Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Владивосток

³Зоологический институт Российской Академии наук,
Санкт-Петербург

*E-mail: mgantsevich@gmail.com

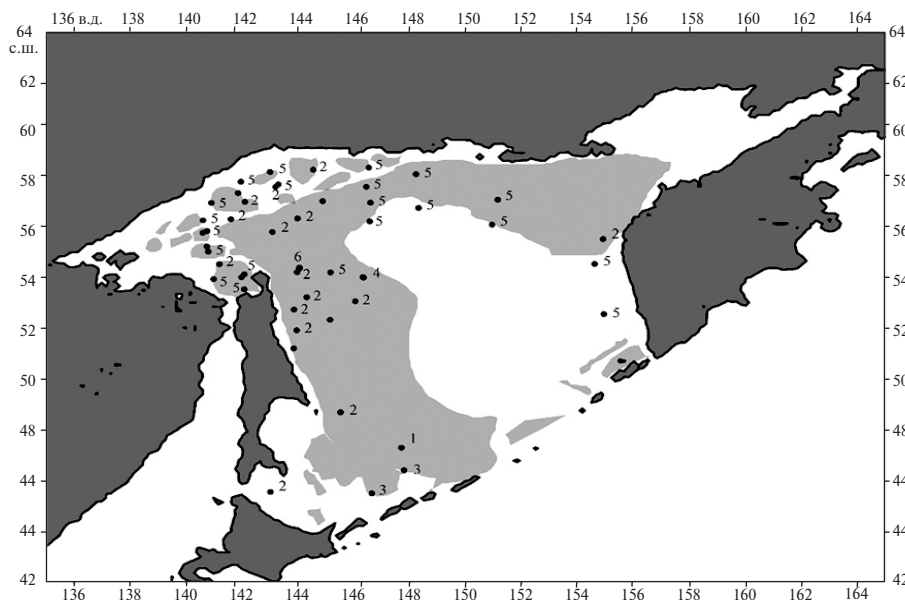


Рис. 1. Распространение находок сибоглинид в Охотском море. 1 — *Lamellisabella zachsi*, 2 — *Oligobrachia dogieli*, 3 — *Polybrachia annulata*, 4 — *Sclerolinum* sp., 5 — *Siboglinum caulleryi*, 6 — *Siboglinum plumosum*. Светло-серым цветом выделена обобщённая область, включающая зоны, где концентрации метана в осадке $> 5 \cdot 10^3$ мл/кг, и зоны, где потенциальная плотность углеводородов выше $5 \cdot 10^6$ т/км².

1,5–3 м и с внутренним диаметром 6 см; ударные ПТ с вкладышами длиной 4 м и с внутренним диаметром 9 см; модифицированный гидростатический разборный пробоотборник с вкладышами конструкции Ю.Л. Гаранько (ТОИ ДВО РАН) длиной 5,75 м и диаметром 138 см. Для извлечения газов применяли методы равновесных концентраций, вакуумной и термовакуумной дегазации. Анализ газового состава проводили на борту судна и в стационарной лаборатории на газовых хроматографах НПФ “Метахром” (Россия): КристалЛюкс-4000М; SRI-8110; ЭХО-ЕW-ПИД; Газохром-2000; АХТ-ГИ; Кристал-5000. Использовали сертифицированные газовые смеси “Alltech Associates Inc.” (США) и ООО “ЮГРА-ПГС” (Россия). Ошибка анализа для углеводородных газов составила $\leq 5\%$. Данные о распространении сибоглинид в виде координат собрали в таблицы Microsoft Excel и с помощью программы Surfer 10 (“Golden Software LLC”, США) создали контурную карту (рис. 1). На эту карту нанесли области распространения углеводородов, установленные нами ранее [7] и в работе [8]. Диаграмму распространения находок сибоглинид (рис. 2) в интервалах глубин построили также с помощью Microsoft Excel.

Охотское море является одним из перспективных регионов для добычи углеводородов, и в нём обнаружено большое количество различных проявлений выхода метана [9]. Источниками метана являются нефтегазовые и угольные залежи и месторождения, а также свободный газ, накапливающийся под не-

проницаемыми газогидратсодержащими отложениями [9]. В настоящее время в Охотском море известны три района, где в донных отложениях присутствуют газогидраты: Восточный Сахалинский склон, Припарамуширский р-н Курильских о-вов и Курильская котловина [9]. Всего на шельфе и склоне Охотского моря обнаружено около 500 выходов метана из донных отложений в воду. Концентрация метана в районе выхода пузырей может достигать 20 000–200 000 нл/л, что превышает фон в 1000–10 000 раз. В районе очагов газовой разгрузки в верхних слоях осадков обнаружены слои и прослойки газогидратов толщиной до 0,5–2 см [10, 11]. По разным оценкам всего в Охотском море содержится $2 \cdot 10^{12}$ – $17 \cdot 10^{13}$ м³ метана, при этом к извлекаемым ресурсам относится $5,1 \cdot 10^{12}$ м³ [9]. Про-

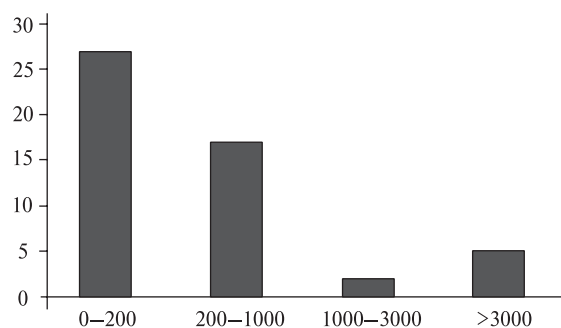


Рис. 2. Батиметрическое распределение находок сибоглинид в Охотском море. По оси абсцисс — диапазоны глубин в метрах, по оси ординат — число находок.

Таблица 1. Число находок отдельных видов сибоглинид в диапазонах глубин

Виды	Диапазоны глубин, м			
	0–200	200–1000	1000–3000	> 3000
<i>Lamellisabella zachsi</i>	—	—	—	3
<i>Oligobrachia dogieli</i>	9	5	—	—
<i>Polybrachia annulata</i>	—	—	—	2
<i>Sclerolinum</i> sp.	—	—	1	—
<i>Siboglinum caulleryi</i>	16	6	1	—
<i>Siboglinum plumosum</i>	2	6	—	—

тяжённость газосодержащей зоны в гидратсодержащих осадках Охотского моря оценивается в 100 тыс. км², а мощность составляет 200 м [12].

Выделенная нами на карте область углеводородных проявлений (рис. 1) включает в себя зоны, где зарегистрировали [7] концентрацию метана в осадке и в придонном слое воды выше фоновых значений (в верхнем слое осадков >5 · 10³ мл/кг, в придонном слое воды >14 нл/л и в зонах, где потенциальная плотность углеводородов, выше 5 · 10⁶ т/км²).

Более 75% всех находок сибоглинид в Охотском море находились на глубине до 400 м (рис. 2). В основном места находок были сосредоточены в северо-западной части шельфа, и дополнительно несколько находок зарегистрировали у берегов Камчатки и у южной оконечности о. Сахалин (рис. 1). При этом в диапазоне глубин до 400 м мы обнаружили в основном два вида — *Siboglinum caulleryi* Ivanov, 1957 и *Oligobrachia dogieli* Ivanov, 1957. Эти виды широко распространены в Охотском море, и большинство находок их приурочены к шельфовым глубинам (табл. 1). В Охотском море максимальная глубина, на которой были отмечены представители вида *S. caulleryi*, 1518 м во впадине Дерюгина, а *O. dogieli* — 572 м. Оба упомянутых вида можно охарактеризовать, как эврибатные [13]. Есть находки, подтверждающие, что *S. caulleryi* может обитать на глубинах до 8164 м, а вид *O. dogieli* — до 2850 м [13]. Тем не менее упомянутые виды не расселяются в относительно глубоководных районах Охотского моря и вовсе отсутствуют на юге в Курильской котловине.

В районе глубоководной Курильской котловины на абиссальных глубинах 3000–3500 известно всего 4 находки погонофор представителей двух видов: *L. zachsi* и *P. annulata* (табл. 1). Данные виды являются характерными представителями абиссали и это, видимо, определяет их распространение только в глубоководной впадине на юге Охотского моря [13, 14].

Таким образом, в центральной части Охотского моря есть обширная область, не заселённая сибоглинидами. В данной области глубина изменяется от 400–1400 м в центре до 1400–3000 м на юге в зоне, пограничной с Курильской котловиной и Курильской грядой на востоке. Следует отметить, что в этой области нет находок ни эврибатных, ни глубоководных видов сибоглинид, представленных в других частях региона (рис. 1).

Сопоставляя данные о распределении сибоглинид в Охотском море с обобщёнными геологическими данными по распространению метана и других углеводородов в придонном слое воды и в осадках (рис. 1), можно отметить следующую закономерность: сибоглиниды в Охотском море приурочены преимущественно к выделенным областям углеводородных проявлений. В центральных районах Охотского моря, где сибоглиниды практически отсутствуют в донных отложениях и в приповерхностном слое воды, мы зарегистрировали минимальные значения концентрации метана: в осадках от 8 · 10⁻⁴ до 22 · 10⁻⁴ мл/кг, а в воде 1,0 · 10⁻⁴ мл/л. В этой области концентрации метана в воде не превышали фоновых значений [7].

Таким образом, можно предположить, что существует связь между распространением сибоглинид или отдельных их видов и наличием углеводородных проявлений, а также, вероятно, существует некоторое пороговое значение концентрации метана в осадке, необходимое для создания условий, благоприятных для обитания представителей данной группы, что предполагалось ранее [15].

Источник финансирования. Исследование поддержано грантом РФФ 18–14–00141.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goffredi S.K., Johnson S.B., Vrijenhoek R.C. Genetic Diversity and Potential Function of Microbial Symbionts Associated with Newly Discovered Species

- of Osedax Polychaete Worms // *Appl. Environ. Microbiol.* 2007. V. 73. № 7. P. 2314–2323.
2. *Naganuma T., Elsaied H.E., Hoshii D., Kimura H.* Bacterial Endosymbioses of Gutless Tube-Dwelling Worms in Nonhydrothermal Vent Habitats // *Mar. Biotechnol.* 2005. V. 7. P. 416–428.
 3. *Lösekannt T., Robador A., Niemann H., Knittel K., Boetius A., Dübiliier N.* Endosymbioses between Bacteria and Deep-Sea Siboglinid Tubeworms from an Arctic Cold Seep (Haakon Mosby Mud Volcano, Barents Sea) // *Environ. Microbiol.* 2008. V. 10. № 12. P. 3237–3254.
 4. *Distel D.L., Lane D.A., Olsen G.L., Giovannoni S.G., Pace N.R., Stahl D.A., Felbeck H.* Sulfur Oxidizing Bacterial Endosymbionts: Analysis of Phylogeny and Specificity by 16S rRNA Sequences // *J. Bacteriol.* 1988. V. 170. P. 2506–2510.
 5. *Reveillaud J., Anderson R., Reyes-Sohn S., Cavanaugh C., Huber J.A.* Metagenomic Investigation of Vestimentiferan Tubeworm Endosymbionts from Mid-Cayman Rise Reveals New Insights into Metabolism and Diversity // *Microbiome.* 2018. V. 6. № 19. P. 1–15.
 6. *Pimenov N.V., Savvichev A.S., Rusanov I.I., Lein A.Yu., Ivanov M.V.* Microbiological Processes of the Carbon and Sulfur Cycles at Cold Methane Seeps of the North Atlantic // *Microbiology.* 2000. V. 69. № 6. P. 709–720.
 7. *Шакиров П.Б.* Аномальные поля метана в Охотском море и их связь с геологическими структурами. Дис. канд. геол.-минерал. наук. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2003. 175 с.
 8. *Харахинов В.В.* Геодинамические условия нефтегазоносности Охотоморского региона // *Геология нефти и газа.* 2018. Т. 2. С. 25–39.
 9. *Гудзенко В.Т., Вареничев А.А., Громова М.П.* Газогидраты. Информационно-аналитический обзор // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений.* 2016. № 5. С. 39–68.
 10. *Пестрикова Н.Л., Обжиров А.И.* Распределение метана и газогидратов на Сахалинском восточном склоне Охотского моря // *Подводные исслед. и робототехника.* 2010. Т. 9. № 1. С. 65–71.
 11. *Обжиров А.И., Коровицкая Е.В., Пестрикова Н.Л., Телегин Ю.А.* Нефтегазоносность и газогидраты в Охотском море // *Подвод. исслед. и робототехника.* 2012. Т. 14. № 2. С. 55–62.
 12. *Обжиров А.И.* Газогеохимические исследования в Охотском море. В сб.: *Дальневосточные моря России.* М.: Наука, 2007. С. 268–276.
 13. *Иванов А.В.* Погонофоры. В кн.: *Фауна СССР. Новая сер. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960. № 75. 271 с.*
 14. *Иванов А.В.* Погонофоры и их географическое распространение. В кн.: *Достижения океанологии. 1-е изд. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 258–284.*
 15. *Малахов В.В., Обжиров В.И., Тарасов В.Г.* О связи погонофор рода *Siboglinum* с зонами высоких концентраций метана // *ДАН.* 1992. Т. 325. № 1. С. 195–197.

SIBOGLINIDS (Annelida, Siboglinidae) AS POSSIBLE INDICATORS OF CARBOHYDRATES ON THE CASE OF THE SEA OF OKHOTSK

N. P. Karaseva¹, M. M. Gantsevich¹, A. I. Obzhirov², R. B. Shakirov²,
A. V. Starovoytov¹, R. V. Smirnov³, Corresponding Member of the RAS V. V. Malakhov¹

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

²Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

³Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation

Received November 29, 2018

Siboglinids (Annelida, Siboglinidae) as possible indicators of carbohydrates on the case of the Sea of Okhotsk. Geographical and bathymetric distribution of siboglinides in the sea of Okhotsk was studied. More than 75% of all siboglinides were found at a depth of 400 m. These findings were mainly concentrated in the North-Western part of the shelf. A comparison of the distribution of siboglinides in the Sea of Okhotsk and generalized geological data on the distribution of hydrocarbons showed that siboglinides in the sea of Okhotsk were mostly found in the areas of hydrocarbon manifestations and were absent in the central regions, where in the bottom sediments and in the near-surface layer of water we have registered minimal methane and hydrocarbon concentrations.

Keywords: Siboglinides, hydrocarbons, indicators, Sea of Okhotsk