УДК 594.14+591.491

## ПЕРВАЯ НАХОДКА ПОГОНОФОР (Annelida, Siboglinidae) В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ СОВПАДАЕТ С РАЙОНАМИ МЕТАНОВЫХ ПРОСАЧИВАНИЙ

# © 2021 г. Н. П. Карасева<sup>1</sup>, Н. Н. Римская-Корсакова<sup>1</sup>, И. А. Екимова<sup>1</sup>, В. Н. Кокарев<sup>2</sup>, М. И. Симаков<sup>3</sup>, М. М. Ганцевич<sup>1,\*</sup>, академик РАН В. В. Малахов<sup>1</sup>

Поступило 05.07.2021 г. После доработки 16.07.2021 г. Принято к публикации 16.07.2021 г.

В Восточно-Сибирском море впервые обнаружены погонофоры (Annelida, Siboglinidae). На основе молекулярно-филогенетического анализа найденные экземпляры предположительно отнесены к роду *Oligobrachia*. Станции, на которых обнаружены погонофоры, находятся в районе, где выявлены метановые просачивания. Это подтверждает ранее высказанную гипотезу о связи погонофор с районами подводных просачиваний метана.

*Ключевые слова:* погонофоры, биогеография, Восточно-Сибирское море, Арктика, метановые просачивания, *Oligobrachia*, Siboglinidae, Frenulata, Annelida **DOI:** 10.31857/S2686738921060044

Siboglinidae Caullery, 1914 — это группа морских беспозвоночных, жизнедеятельность которых обеспечивается за счет симбиотических хемоавтотрофных или гетеротрофных бактерий, обитающих внутри клеток специального органа трофосомы. По современным данным Siboglinidae — это одно из семейств седентарных Annelida [1]. Френулятные погонофоры (Frenulata) – самая многочисленная по числу видов группа сибоглинид, в трофосоме которых могут обитать как сульфид-окисляющие, так и метан-окисляющие симбионты [2]. В районах углеводородных просачиваний в толще осадка при участии микроорганизмов происходит окисление метана за счет сульфатов, в результате чего создаются высокие концентрации сульфидов [3, 4]. Вот почему френулятные погонофоры, содержащие не только метан-окисляющих, но и сульфид-окисляющих симбионтов, обитают в районах углеводородных просачиваний. Ранее [5, 6] на примере Охотского моря была высказана гипотеза о том, что распределение погонофор коррелирует с районами высоких концентраций метана в осадке и в придон-

<sup>1</sup> Московский государственный университет

<sup>2</sup> Факультет биологических наук и аквакультуры,

ной воде. В российском секторе Арктического бассейна, до настоящего момента, френулятные погонофоры были известны только в Баренцевом и Карском морях, а также в море Лаптевых [7–9]. Настоящая статья представляет собой сообщение о первой находке погонофор в Восточно-Сибирском море.

В ходе работ в 69-го рейса НИС "Академик Мстислав Келдыш" Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова 27/07/2016 на станциях 5602 (73°14' с.ш., 156°26.2' в.д.) и 5606 (75°38' с.ш., 161°59.9' в.д.) на глубине 26 и 48 м. соответственно, были найдены трубки погонофор с фрагментами мягкого тела. На обеих станциях осадок представлял собой алевритово-пеллитовый ил, температура придонной воды составляла –1.4°С и -1.8°С, соленость придонного слоя воды 32.6 и 31.8‰ на станциях 5602 и 5606 соответственно. Одна неполная трубка со станции 5602 была зафиксирована в параформе и три неполных трубки со станции 5606 были зафиксированы в 96% этиловом спирте. Два неполных экземпляра погонофор были извлечены из двух трубок со станции 5606.

Сайты находок погонофор в Восточно-Сибирском море расположены в западной и северо-западной частях шельфа Восточно-Сибирского моря. Станции 5602 и 5606 располагалась, соответственно, на юго-восток и на юго-запад от острова Новая Сибирь (рис. 1).

имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Северный университет, Буде, Норвегия

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Институт океанологии имени П.П. Ширшова

Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>\*</sup>e-mail: mgantsevich@gmail.com



**Рис. 1.** Карта Восточно-Сибирского моря с указанием станций, на которых обнаружены погонофоры Oligobrachia (отмечены звездочками) и полигона, на котором обнаружены метановые факелы (прямоугольник).

Трубки, обнаруженные на обеих станциях, имели идентичное строение: передняя часть трубок пленчатая, мягкая и полупрозрачная, остальная часть трубки упругая, визуально разделена прозрачными кольцами на сегменты (рис. 2).

Трубки окрашены в желтоватые тона до оранжевого цвета, местами трубки имеют темно-бурую окраску. Диаметр трубок составляет 0.7–0.9 мм и практически постоянен на протяжении длины имеющихся фрагментов. Морфология трубок позволила сделать предположение о близости найденных экземпляров к роду Oligobrachia, однако плохая сохранность мягкого тела не позволила сделать морфологическое описание найденных экземпляров. Для надежного определения таксономической принадлежности найденных погонофор мы воспользовались методом молекулярнофилогенетического анализа. Несмотря на то что для анализа нами был использован материал только с одной станции, идентичная морфология трубок, найденных на обеих станциях, дает основание относить все найденные экземпляры к одному и тому же виду.

Всего для проведения данного молекулярнофилогенетического анализа нами были использованы 106 последовательностей, 6 из них принадлежали новым находкам из Восточно-Сибирского моря, остальные 100 принадлежали различным таксонам погонофор и представителям рода Sclerolinum Southward, 1961. Все последовательности были ранее опубликованы в ГенБанке NCBI. Выравнивание последовательностей включало 2562 позиции пар нуклеотидов. Реконструкция филогенетического дерева была выполнена с помощью Байесовского анализа (Bayesian Inference, BI) в программе MrBayes 3.1.2. по объединенным последовательностям четырех фрагментов генов (COI, 16S, 18S, 28S). Финальные филогенетические реконструкции были визуализированы в программе Fig Tree Drawing Tool v.1.4.0. Полученное филогенетическое древо представлено на рис. 3.

На представленном дереве все три вида арктических видов *Oligobrachia* формируют общую кладу с апостериорной вероятностью p = 1, каждый вид в отдельности также формирует монофилетические клады с высокой степенью поддержки (p = 1). Найденные в Восточно-Сибирском море погонофоры образуют монофилетическую кладу с представителями *Oligobrachia* CPL-clade (p = 1). Таким образом, новые находки погонофор из Восточно-Сибирского моря предположительно следует отнести к роду *Oligobrachia*.

Первым видом погонофор рода Oligobrachia, найденным в арктических водах, был O. haakonmosbiensis Smirnov, 2000, который имеет прерывистый ареал, охватывающий Норвежское море, северо-западную часть Баренцева моря и море Лап-



**Рис. 2.** Трубки *Oligobrachia* sp. CPL-clade из Восточно-Сибирского моря. а – трубка со станции 5602 (масштаб 0.5 см), б – передние концы трубок, обнаруженных на станции 5606 (масштаб 2 мм).

тевых [8]. Сен с соавт. [10, 11] показали, что находки погонофор, обозначенных как *O. haa*konmosbiensis, в действительности представляют собой находки представителей комплекса криптических видов.

Эти виды плохо различаются по морфологическим особенностям, однако при молекулярнофилогенетическом анализе образуют 3 хорошо различимых кластера, которые можно рассматривать как три отдельных вида [10, 11]. Типовой вид *O. haakonmosbiensis* распространен в Норвежском море на востоке в нескольких точках вдоль границы шельфа (721–1303 м). Второй вид, обозначенный как *Oligobrachia* CPL-clade, имеет широкий ареал от архипелага Шпицберген на границе Норвежского и Баренцева моря до Восточно-Сибирского моря (включая данную находку) на глубине (26-380 м) [8, 10]. Третий вид, обозначенный как Oligobrachia sp. Vestnesa, известен только из двух местонахождений в районе хребта Вестнеса на северо-западе от архипелага Шпицберген на глубине 1200 м, где также встречается типовой вид O. haakonmosbiensis [11]. Кроме того, погонофоры сходной морфологии были описаны к северо-востоку от архипелага Шпицберген на глубинах 2090-2166 м, однако без молекулярно-филогенетического анализа невозможно точно установить, относятся ли данные погонофоры к типовому виду O. haakonmosbiensis или одному из



**Рис. 3.** Положение *Oligobrachia* sp. CPL-clade из Восточно-Сибирского моря на филогенетическом дереве френулятных погонофор, построенным по методу Байеса по матрице конкатенированных последовательностей 4 генов (COI, 16S, 18S, 28S). Цифры над ветвями указывают апостериорные вероятности.

двух пока не описанных *Oligobrachia* CPL-clade или *Oligobrachia* sp. Vestnesa [8].

Все представители арктических олигобрахий (O. haakonmosbiensis, Oligobrachia CPL-clade и Oligobrachia sp. Vestnesa) описаны из различных биотопов, ассоциированных с подводными метановыми проявлениями – сипами, кратерами, грязевыми вулканами и покмарками [7, 8, 10-12]. Представители рода Oligobrachia (которые, вероятно, соответствуют Oligobrachia CPL-clade) найдены в море Лаптевых только в районах метановых просачиваний и не были обнаружены ни на одной из станций с фоновыми концентрациями метана [8]. Станция 5606, на которой были обнаружены представители рода Oligobrachia в Восточно-Сибирском море, практически совпадает с полигоном, на котором зарегистрированы метановые факелы [13]. Прямых измерений концентрации метана на станции 5602 не было. Можно

только предполагать, что в этом районе высокие концентрации метана, необходимые для жизнедеятельности погонофор, могут возникать за счет деградации вечной мерзлоты под воздействием речного стока [14]. В целом имеющиеся данные показывают, что и в арктических морях погонофоры могут выступать как индикаторы метановых просачиваний.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 18-14-00141-П.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все процедуры, проводимые в исследованиях с участием животных, соответствовали этическим стандартам учреждения или принятой практике для таких исследований.

Информированное согласие было получено от всех участников исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Weigert A., Bleidorn C. Current status of annelid phylogeny // Organisms Diversity & Evolution. 2016. V. 16. № 2. P. 345–62.
- 2. *Hilario A., Capa M., Dahlgren T.G., et al.* New Perspectives on the Ecology and Evolution of Siboglinid Tubeworms // PLoS ONE. 2011. V. 6. № 2. P. e16309.
- Naganuma T., Elsaied H.E., Hoshii D., et al. Bacterial endosymbioses of gutless tube-dwelling worms in nonhydrothermal vent habitats // Mar. Biotechnol. 2005. V. 7. P. 416–428.
- Lösekann T., Robador A., Niemann H., et al. 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.
- Карасева Н.П., Ганцевич М.М., Обжиров А.И., и др. Сибоглиниды (Annelida, Siboglinidae) как возможные индикаторы углеводородов на примере Охотского моря // Доклады Академии наук, издательство Наука (М.). 2019. Т. 486. № 1. С. 127–130.
- Karaseva N., Gantsevich M., Obzhirov A., et al. Correlation of the siboglinid (Annelida: Siboglinidae) distribution to higher concentrations of hydrocarbons in the Sea of Okhotsk //Marine Pollution Bulletin. 2020. V. 158. P. 1–9.
- 7. *Ivanov A.V.* Pogonophora. *Carlisle DB*, editor. London: Academic Press, 1963. P. 1–479.
- 8. *Smirnov R.V.* A revision of the Oligobrachiidae (Annelida: Pogonophora), with notes on the morphology and

distribution of Oligobrachia haakonmosbiensis Smirnov //Marine Biology Research [Internet]. 2014. V. 10. № 10. P. 972–82.

- 9. Smirnov R.V., Zaitseva O.V., Vedenin A.A. A remarkable pogonophoran from a desalted shallow near the mouth of the Yenisey River in the Kara Sea, with the description of a new species of the genus Galathealinum (Annelida: Pogonophora: Frenulata) // Zoosystematica Rossica. 2020. V. 29. № 1. P. 138–54.
- 10. Sen A., Duperron S., Hourdez S., et al. Cryptic frenulates are the dominant chemosymbiotrophic fauna at Arctic and high latitude Atlantic cold seeps // PLOS ONE [Internet]. 2018. V. 13. № 12. P. 1–29.
- 11. Sen A., Didriksen A., Hourdez S., et al. Frenulate siboglinids at high Arctic methane seeps and insight into high latitude frenulate distribution // Ecology and Evolution. 2020. V. 10. № 3. P. 1339–51.
- Baranov B., Galkin S., Vedenin A., et al. Methane seeps on the outer shelf of the Laptev Sea: characteristic features, structural control, and benthic fauna // Geo-Mar Lett 2020. V. 40. P. 541–557.
- 13. Амбросимов А.К. Метановые сипы и гидрофизические аномалии Восточно-Сибирского моря как отклик на климатические изменения // Экологические системы и приборы. 2020. № 12. С. 48–53.
- 14. Семилетов И.П., Дударев О.В., Дмитревский Н.Н., и др. Изучение климатической роли деградации подводной мерзлоты как фактора массированных выбросов основных парниковых газов в атмосферу над Восточно-арктическими морями России (78-й рейс НИС "академик Мстислав Келдыш"). Итоги экспедиционных исследований в 2018 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген: Материалы конференции: электронный ресурс, Москва, 18–19 февраля 2019 года. – Москва: Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН, 2019. С. 157– 173.

## THE FIRST DISCOVERY OF POGONOPHORES (Annelida, Siboglinidae) IN THE EAST SIBERIAN SEA COINCIDES WITH THE AREAS OF METHANE SEEPS

# N. P. Karaseva<sup>*a*</sup>, N. N. Rimskaya-Korsakova<sup>*a*</sup>, I. A. Ekimova<sup>*a*</sup>, V. N. Kokarev<sup>*b*</sup>, M. I. Simakov<sup>*c*</sup>, M. M. Gantsevich<sup>*a*,#</sup>, and Academician of the RAS V. V. Malakhov<sup>*a*</sup>

<sup>a</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation
<sup>b</sup> Faculty of Biosciences and Aquaculture, Nord University, Bodø, Norway
<sup>c</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, Russian Federation
<sup>#</sup>e-mail: mgantsevich@gmail.com

Pogonophores (Annelida, Siboglinidae) were first discovered in the East Siberian Sea. Based on molecular phylogenetic analysis, the found specimens are presumably assigned to the genus Oligobrachia. The stations where the pogonophores were found are located in the area where methane seeps were detected. This confirms the previously stated hypothesis about the connection of pogonophores with areas of underwater methane seepage.

*Keywords:* pogonophores, biogeography, East Siberian Sea, Arctic, methane seeps, Oligobrachia, Siboglinidae, Frenulata, Annelida