

УДК 595.142.2:591.4

НАХОДКА ПОГОНОФОР (ANNELIDA, SIBOGLINIDAE) В ЖЕЛОБЕ СВЯТОЙ АННЫ (КАРСКОЕ МОРЕ) В РАЙОНЕ ДИССОЦИИ ГАЗОГИДРАТОВ

© 2023 г. Н. Н. Римская-Корсакова¹, Н. П. Карасева¹, А. А. Осадчиев²,
член-корреспондент РАН И. П. Семилетов³, М. М. Ганцевич^{1,*},
Д. А. Юрикова^{1,4}, академик РАН В. В. Малахов¹

В желобе Святой Анны на глубинах 539 и 437 м обнаружены представители погонофор (Annelida, Siboglinidae), жизнедеятельность которых обеспечивается симбиотическими хемоавтотрофными бактериями, окисляющими метан и сероводород. Находка погонофор свидетельствует о высоких концентрациях метана, которые могут возникать в результате диссоциации донных газогидратов под влиянием притока теплой атлантической воды, проникающей в Карское море вдоль желоба Святой Анны.

Ключевые слова: погонофоры, метан, газогидраты, желоб Святой Анны, Карское море, потепление Арктики, Siboglinidae

DOI: 10.31857/S2686738922600662, EDN: MOJGOG

Погонофоры — морские кольчатые черви семейства Siboglinidae, которые характеризуются полной редукцией пищеварительного тракта. Жизнедеятельность погонофор полностью обеспечивается за счет симбиотических хемоавтотрофных бактерий, окисляющих сероводород и метан [1–3]. Это позволяет рассматривать сибоглинид в качестве организмов-индикаторов подводных месторождений нефти и газа [4, 5].

Моря российского сектора Арктики рассматриваются как регион с колоссальными запасами нефти, газа и газогидратов [6–10]. При этом Карское море превосходит все другие моря российской Арктики по ресурсам углеводородов [11, 12]. Фауна погонофор Карского моря до последнего времени оставалась практически неизученной. Лишь в 2020 г. два вида погонофор были найдены в Енисейском заливе Карского моря, причем оба оказались новыми для науки [13–15].

В ходе гидробиологических работ в 86-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” погонофоры были обнаружены в южной части желоба Святой Анны на двух станциях (рис. 1).

Координаты станций и дата сбора приведены в табл. 1.

Отбор проб донных осадков осуществляли с помощью дночерпателя “Океан” с площадью раскрытия 0.25 кв. м. После поднятия дночерпателя на палубу пробы осадков промывали через сито с размером ячеек 0.15 мм. Разбор проб осуществляли с применением бинокулярных микроскопов Микмед (Россия), Olympus SZX (Япония). Фотографирование организмов произведено с помощью окулярной насадки LabCam (iDuOptics, США) для Iphone6S (Apple, США). Для дальнейшего изучения материал был зафиксирован в 96%-ном этаноле.

На станции 7249 на глубине 539 м было обнаружено 3 трубки, в двух из которых были обнаружены живые черви. На станции 7250 на глубине 437 м было обнаружено две трубки без червей. Найденные организмы принадлежат к двум видам подсемейства Frenulata. Ниже дается краткое описание найденных экземпляров. Детальное морфологическое описание, результаты молекулярно-генетического анализа и определение ви-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, 117997 Москва, Россия

³ Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук, 690041 Владивосток, Россия

⁴ Центр морских исследований МГУ, Москва, Россия

*e-mail: mgantsevich@gmail.com

Таблица 1. Станции, на которых были обнаружены погонофоры

Номер станции	Северная широта, °	Восточная долгота, °	Глубина, м	Дата сбора
7249	77.0001	70.0021	539	22.10.2021
7250	77.4999	68.9953	437	22.10.2021

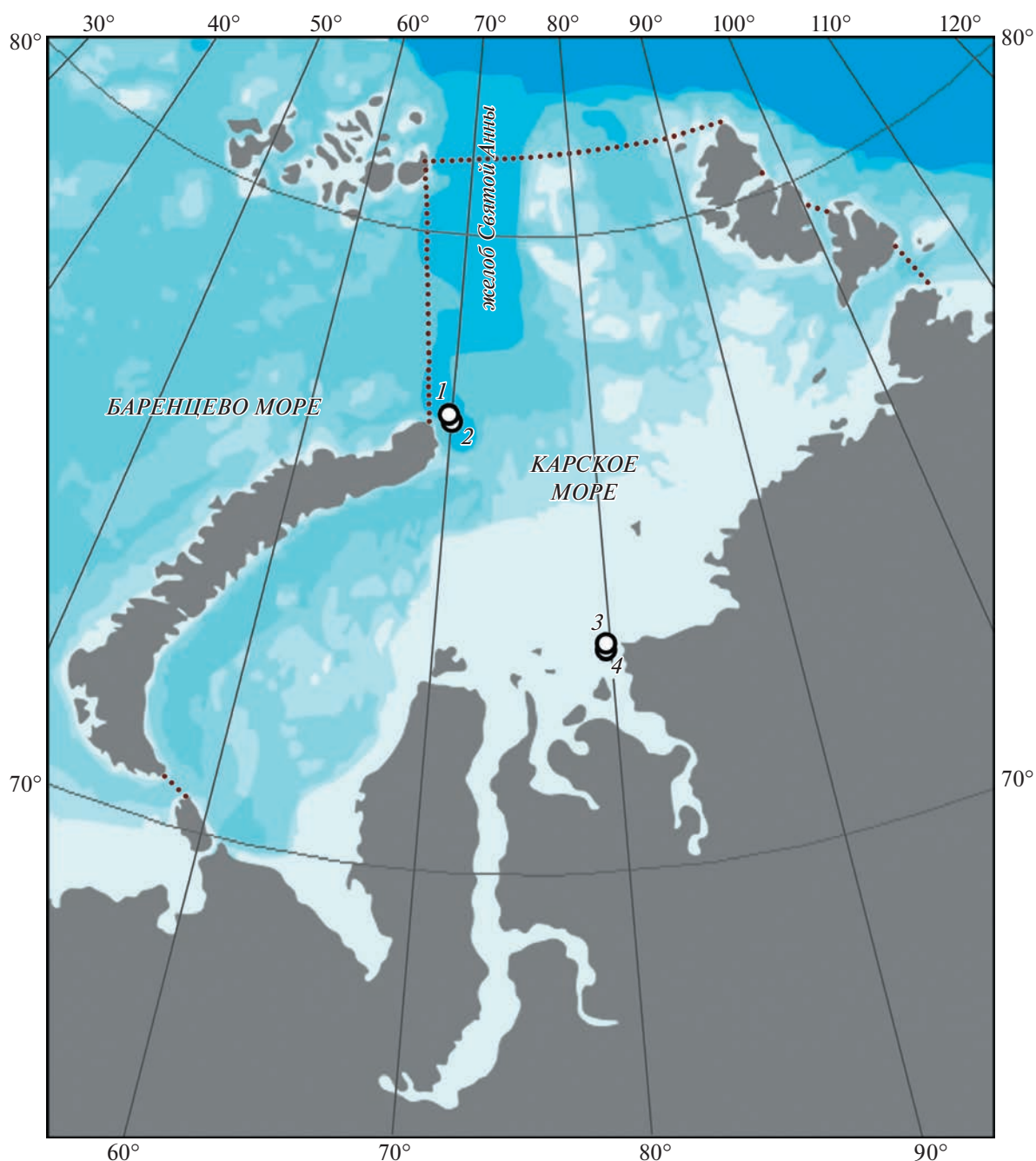


Рис. 1. Находки погонофор в Карском море. 1, 2 — находки в желобе Святой Анны; 3, 4 — находки в Енисейском заливе. Пунктиром показаны географические границы Карского моря.

довой принадлежности будут даны в отдельной публикации.

Frenulata gen. sp. 1 — это единственный экземпляр, найденный в пробе, взятой на станции 7249. Трубка длиной 18 см и диаметром около 0.2 мм полупрозрачная, белесо-желтого цвета, лишена кольчатости по всей длине (рис. 2, *tu*). Фрагмент червя длиной 6 см. Головная лопасть коническая (рис. 2, *cl*). Имеется единственное щупальце

(рис. 2, *te*). Позади уздечки отчетливо видна белая железистая полоса (рис. 2, *gp*). Передняя часть метасомы несет два ряда дорсальных папилл (рис. 2, *pa*). По особенностям морфологии найденный экземпляр близок к роду *Siboglinum*, однако отличается строением трубки, полностью лишенной кольчатости.

Frenulata gen. sp. 2. — две трубки в пробе, взятой на станции 7249, и две трубки в пробе, взятой на

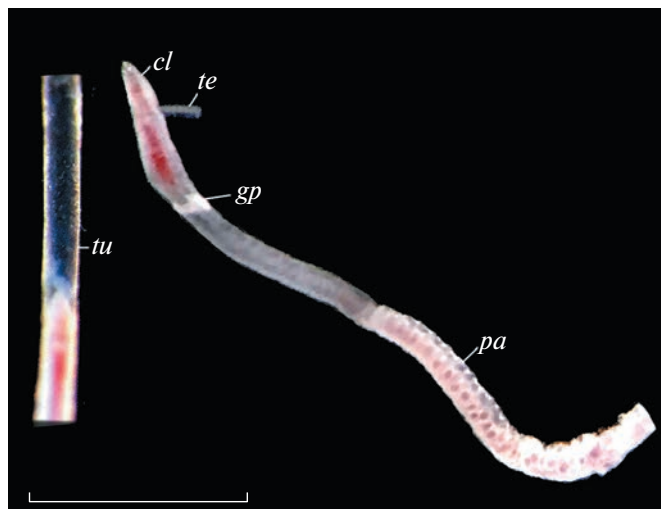


Рис. 2. *Frenulata* gen. sp. № 1. Обозначения: cl — головная лопасть, gp — железистые пятна, pa — папиллы, te — щупальце, tu — трубка. Масштаб 1 мм.

станции 7250. Трубки длиной до 17 см, диаметром 0.15–0.2 мм. Трубки с явственной кольчатостью (рис. 3, *tu*). В одной из трубок из пробы, взятой на станции 7249, обнаружен фрагмент червя длиной 5 см. Головная лопасть короткая, остро-коническая (рис. 3, *cl*). Имеется два щупальца (рис. 3, *te*). Уздечка явственная, ниже уздечки на дорсальной стороне имеются железистые пятна (рис. 3, *br*, *gp*). На спинной стороне метасомы проходит два ряда папилл (рис. 3, *pa*). В трубке обнаружены две личинки. По особенностям морфологии найденный экземпляр похож на представителей рода *Nereillium*, хотя у последнего нет двух рядов дорсальных папилл на метасоме (вместо этого имеются ряды многоклеточных желез).

Погонофоры обнаружены пока только в двух районах Карского моря. Один из них — это район Енисейского залива между о. Сибирякова и западным берегом полуострова Таймыр (рис. 1). *Crispabrachia yenisey* обнаружена на глубине 28 м [13, 15], тогда как *Galathealinum karaense* — на глубине 25 м [14]. Место находки двух видов погонофор в Енисейском заливе находится в районе с высокими концентрациями метана, который продуцируется в процессе деградации вечной мерзлоты под влиянием речного стока [16].

Потепление климата Арктики приводит к диссоциации газогидратов не только в прибрежной зоне, но также в глубоководных впадинах [17, 8, 18]. Как показывают гидрологические исследования, теплая и соленая атлантическая вода поступает через пролив Фрама в центральную впадину Северного Ледовитого океана и, далее, вдоль желоба Святой Анны проникает в Карское море [19, 20]. Существующие модели показывают, что проникновение теплой воды в желоб Святой Анны вызывает значительную диссоциацию донных газогид-

ратов [18]. Образующийся при этом поток метана служит источником, обеспечивающим жизнедеятельность погонофор.

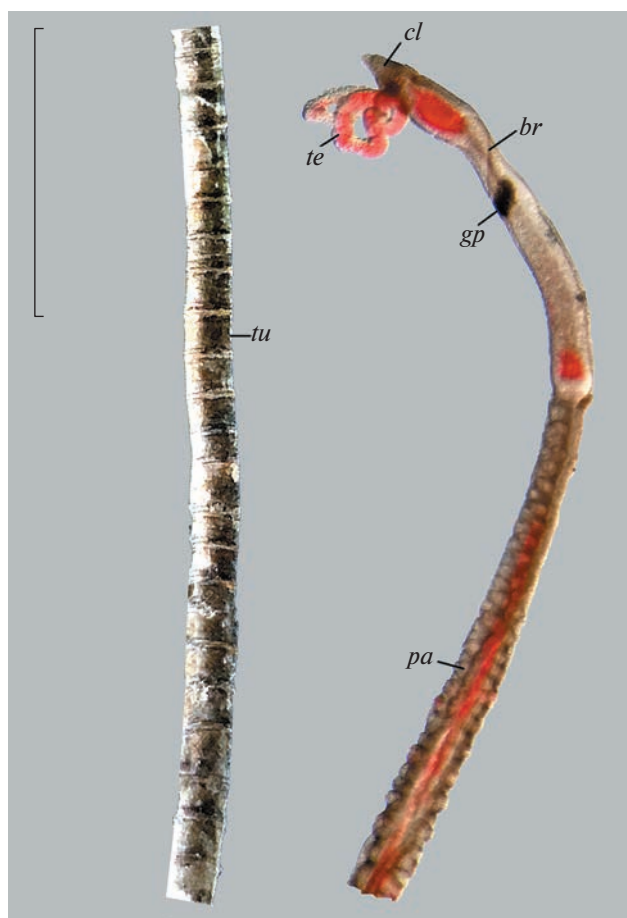


Рис. 3. *Frenulata* gen. sp. № 2. Обозначения: br — уздечка, остальные обозначения как на рис. 2. Масштаб 1 мм.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

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

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ

Информированное согласие было получено от всех участников исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Schmaljohann R., Flügel H.J.* Methane-oxidizing bacteria in Pogonophora // *Sarsia*. 1987. V. 72. P. 91–98.
2. *Naganuma T., Elsaied H.E., Hoshii D., Kimura H.* Bacterial endosymbioses of gutless tube-dwelling worms in non hydrothermal vent habitats // *Marine Biotechnology*. 2005. V. 7. P. 416–428.
3. *Lösekann T., Robador A., Niemann H., Knittel K., Boettius A., Dubilier N.* Endosymbioses between bacteria and deep-sea siboglinid tubeworms from an Arctic cold seep (Haakon Mosby mud volcano, Barents Sea) // *Environmental Microbiology*. 2008. V. 10. P. 3237–3254.
4. *Карасева Н.П., Ганцевич М.М., Обжиров А.И., Шакиров Р.Б., Старовойтов А.В., Смирнов Р.В., Малахов В.В.* Сибоглиниды (Annelida, Siboglinidae) как возможные индикаторы углеводородов на примере Охотского моря // *ДАН*. 2019. Т. 486. № 1. С. 127–130.
5. *Karaseva N., Gantsevich M., Obzhirov A., Shakirov R., Starovoitov A., Smirnov R., Malakhov V.* Correlation of the siboglinid (Annelida: Siboglinidae) distribution to higher concentrations of hydrocarbons in the Sea of Okhotsk // *Marine Pollution Bulletin*. 2020. V. 158. 111448.
6. *Gautier D.L., Bird K.J., Charpentier R.R., Grantz A., Houseknecht D.W., Klett T.R., Moore T.E., Pitman J.K., Schenk C.J., Schuenemeyer J.H., Sørensen K., Tennyson M.E., Valin Z.C., Wandrey C.J.* Assessment of Undiscovered Oil and Gas in the Arctic // *Science*. 2009. V. 324. P. 1175–1179.
7. *Spencer A.M., Embry A.F., Gautier D.L., Stoupakova A.V., Sørensen K.* Chapter 1. An overview of the petroleum geology of the Arctic // *Geological Society, London, Memoirs*. 2011. V. 35. P. 1–15.
8. *Max M.D., Johnson A.H., Dillon W.P.* Natural Gas Hydrate – Arctic Ocean Deepwater Resource Potential. *SpringerBriefs in Energy*. 2013. P. 1–113.
9. *Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Шабалин Н.А., Кондратюк А.Т., Еремин А.Н.* Состояние и перспективы традиционного и интеллектуального освоения углеводородных ресурсов Арктического шельфа // *NefteGas.RU Offshore*. 2017. № 1. С. 32–42.
10. *Dmitrieva D., Romasheva N.* Sustainable Development of Oil and Gas Potential of the Arctic and Its Shelf Zone: The Role of Innovations // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2020. V. 1003.
11. *Ананьев В.* До арктического шельфа у России “руки не доходят” // *Oil & Gas Journal*. 2010. Май. С. 38.
12. *Каминский В.Д., Черных А.А., Медведева Т.Ю., Сунруненко О.И., Суворова Е.Б.* Карское море – перспективный полигон для изучения и освоения углеводородных ресурсов // *NefteGaz.RU. Offshore*. 2020. № 5 (101). С. 82–89.
13. *Римская-Корсакова Н.Н., Карасева Н.П., Кокарев В.Н., Симаков М.И., Ганцевич М.М., Малахов В.В.* Первая находка погонофор (Annelida, Siboglinidae) в Карском море совпадает с районом высокой концентрации метана // *ДАН*. 2020. Т. 490. С. 101–104.
14. *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 *Galathealium* (Annelida: Pogonophora: Frenulata) // *Zoosystematica Rossica*. 2020. V. 29. P. 138–154.
15. *Karaseva N.P., Rimskaya-Korsakova N.N., Ekimova I.A., Gantsevich M.M., Kokarev V.N., Kremnyov S.V., Simakov M.I., Udalov A.A., Vedenin A.A., Malakhov V.V.* A new genus of frenulates (Annelida: Siboglinidae) from shallow waters of the Yenisey River estuary, Kara Sea // *Invertebrate Systematics*. 2021. V. 35. P. 857–875.
16. *Шахова Н.Е., Семилетов И.П., Бельчева Н.Н.* Великие сибирские реки как источники метана на арктическом шельфе // *ДАН*. 2007. Т. 414. № 5. С. 683–685.
17. *Reagan M.T., Moridis G.J., Elliott S.M., Maltrud M.* Contribution of oceanic gas hydrate dissociation to the formation of Arctic Ocean methane plumes // *Journal of Geophysical Research*. 2011. V. 116. C09014.
18. *Giustiniani M., Tinivella U., Jakobsson M., Rebesco M.* Arctic Ocean Gas Hydrate Stability in a Changing Climate // *Journal of Geological Research*. 2013. Article ID 783969, 10 pages.
19. *Dmitrenko I.A., Rudels B., Kirillov S.A., Aksenov Y.O., Lien V.S., Ivanov V.V., Schauer U., Polyakov I.V., Coward A., Barber D.G.* Atlantic water flow into the Arctic Ocean through the St. Anna Trough in the northern Kara Sea // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2015. V. 120. P. 5158–5178.
20. *Osadchiev A., Viting K., Frey D., Demeshko D., Dzhamalova A., Nurlibaeva A., Gordey A., Krechik V., Spivak E., Semiletov I., Stepanova N.* Structure and Circulation of Atlantic Water Masses in the St. Anna Trough in the Kara Sea // *Frontiers in Marine Sciences*. 2022. V. 9: 915674.

THE DISCOVERY OF POGONOPHORES (ANNELIDA, SIBOGLINIDAE) IN THE ST. ANNA TROUGH (KARA SEA) IN THE AREA OF GAS HYDRATES DISSOCIATION

**N. N. Rimskaya-Korsakova^a, N. P. Karaseva^a, A. A. Osadchiev^b,
Corresponding Member of the RAS I. P. Semiletov^c, M. M. Gantsevich^{a, #},
D. A. Yurikova^{a, d}, and Academician of the RAS V. V. Malakhov^a**

^a *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

^b *Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russian Federation*

^c *V.I. Ilyichev Pacific Oceanological Institute Far East Branch of the RAS, Vladivostok, Russian Federation*

^d *Marine Research Center, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation*

[#] *e-mail: mgantsevich@gmail.com*

Representatives of pogonophores (Annelida, Siboglinidae), whose vital activity is provided by symbiotic chemoautotrophic bacteria that oxidize methane and hydrogen sulfide, were found in the St. Anna trough at depths of 539 m and 437 m. The discovery of pogonophores indicates high concentrations of methane, which can occur because of dissociation of bottom gas hydrates under the influence of the influx of warm Atlantic water penetrating into the Kara Sea along the St. Anna trough.

Keywords: pogonophores, methane, gas hydrates, St. Anna trough, Kara Sea, Arctic warming, Siboglinidae