



УДК 556:579.26 (265.72)

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.33>

Особенности распределения индикаторных групп микроорганизмов в донных отложениях Южно-Китайского моря

А. И. Еськова, А. Л. Пономарева, А. А. Легкодимов, В. Ю. Калгин,
Р. Б. Шакиров, А. И. Обжиров

*Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН,
г. Владивосток, Россия*

Аннотация. Южно-Китайское море является достаточно хорошо исследованным. Районы континентального шельфа изучены в меньшей степени. Они характеризуются местами газопроявления, углеводородных источников и нефтегазовых месторождений. Исследования проводились в ходе российско-вьетнамской геолого-геофизической экспедиции ТОИ ДВО РАН в 88-м рейсе НИС «Академик М. А. Лаврентьев» (25 октября – 8 декабря 2019 г.). Площадь работ включала привьетнамскую акваторию Южно-Китайского моря (районы бассейна Нам Кон Сон центрального привьетнамского шельфа и склона (бассейн Фу Хань) и осадочного бассейна Красной реки. Геологическое опробование донных осадков было произведено на глубинах моря от 50 до 2400 м. Нами были изучены распределение и численность метанотрофных, углеводородокисляющих и сульфатредуцирующих микроорганизмов по различным горизонтам в кернах донных отложений. Рассмотрена зависимость распределения индикаторных групп микроорганизмов от глубины отбора. Проведенные исследования позволили сделать вывод о высокой степени корреляции между численностью микроорганизмов и изменением концентрации метана в керне. Отмечены особенности роста исследуемых групп микроорганизмов при различных температурах культивирования. Показано возможное участие сульфатредуцирующих микроорганизмов в образовании сульфидной минерализации (гидротроилита и марказита) в осадке.

Ключевые слова: Южно-Китайское море, донные отложения, метанотрофные, углеводородокисляющие, сульфатредуцирующие микроорганизмы, сульфидные конкреции.

Для цитирования: Особенности распределения индикаторных групп микроорганизмов в донных отложениях Южно-Китайского моря / А. И. Еськова, А. Л. Пономарева, А. А. Легкодимов, В. Ю. Калгин, Р. Б. Шакиров, А. И. Обжиров // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 33. С. 33–43. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33.33>

Введение

Южно-Китайское море является одним из ключевых в понимании геофизических, геологических, океанографических, климатических и биосферных процессов, происходящих в юго-западной части Тихого океана. Современная геологическая структура, условия и история формирования этого бассейна, перспективы нефтегазоносности, особенности океанографии в общих чертах уже известны [Глубинное строение континентальных ... ,

2011; Jilan, 2004; Wu, 1985]. В то же время ряд важнейших аспектов недостаточно изучен: существуют объекты, тесно связанные с природными георесурсами акватории Вьетнама, но исследованные в гораздо меньшей степени, чем мелководный шельф. Эти районы характеризуются положительными признаками обнаружения углеводородных и других полезных ископаемых, их комплексное изучение даст возможность сопоставить современное состояние морского дна с данными, полученными ранее. Различия в характере осадконакопления в бассейнах, изменяющиеся литологические последовательности в глубоких подземных отложениях, относительная изоляция бассейна от Тихого океана и близость Индийского океана делают Южно-Китайское море подходящим для изучения гетерогенности среды обитания и формирования сообщества микроорганизмов в морских отложениях.

Специфические потребности микроорганизмов в источниках питания, факторах роста или микроэлементах делают их удобными объектами для использования в качестве биологических индикаторов. Обоюдное увеличение численности метанотрофных бактерий и сульфатредукторов характерно для зон анаэробного окисления метана. Совместная деятельность этих функциональных типов микроорганизмов может стимулировать образование сульфидных конкреций и гидротроилитов.

По данным ранее проведенных исследований микробиома донных отложений в Южно-Китайском море [Energy Gradients Structure ... , 2018], сульфатредуцирующие бактерии составляли только 4 % сообщества в отложениях из метаногенной зоны. В сообществах преобладали несколько плохо охарактеризованных таксонов, вовлеченных в деградацию органических веществ, в том числе *Atribacteria*, *Dehalococcoidia*, и *Aerophobetes*. При этом распределение анаэробных биоиндикаторных групп микроорганизмов, свойственных аномально-газовым полям в данных районах, изучено мало.

Целью работы является выявление метан- и углеводородоокисляющих, сульфатредуцирующих микроорганизмов в аномальных газовых полях в донных отложениях Южно-Китайского моря и их взаимосвязь с аутигенной минерализацией.

Районы исследования, материалы и методы

Экспедиционные работы были проведены в трех районах: юго-западной части Южно-Китайского моря в районе бассейна Нам Кон Сон (географически участок охватывал акваторию от 8°42,96' до 9°54,01' с. ш. и от 109°17,21' до 109°26,34' в. д.); центрального привьетнамского шельфа и склона (бассейн Фу Хань) (от 11°17,03' до 13°72,95' с. ш. и от 110°14,82' до 109°56,03' в. д.) и осадочного бассейна Красной реки (от 15°41,31' до 18°60,6' с. ш. и от 109°83,6' до 107°09,9' в. д.).

Образцы кернa были получены методом малоглубинного бурения с помощью гравитационного пробоотборника из нержавеющей стали с внутренним диаметром 130 мм и длиной 600 см. Всего поднято и проанализировано 55 трубок, из них 15 на южном полигоне (№ 1), 35 трубок на центральном (№ 2) и 5 на северном (№ 3) (рис. 1).

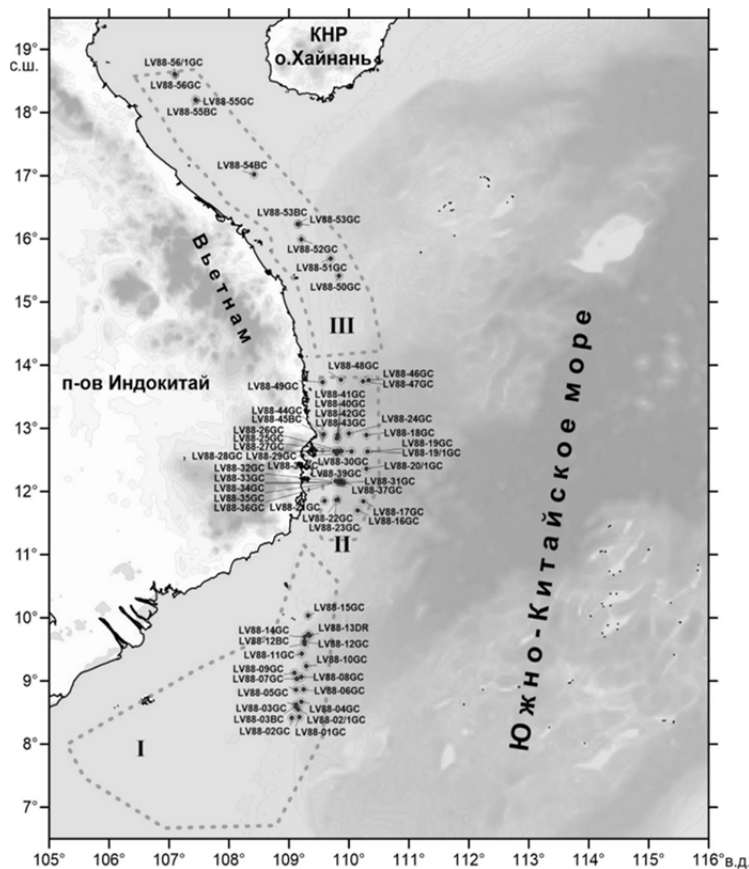


Рис. 1. Карта-схема маршрута исследования и расположения районов работ в рейсе № 88 НИС «Академик М. А. Лаврентьев», 25 октября – 8 декабря 2019 г.
 I – южный (бассейн Нам Ком Сон), II – центральный (бассейн Фу Хань),
 III – северный (бассейн Красной реки)

Пробы донных осадков отбирали в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5.01-80. Отбирали окисленный (поверхностный) и восстановленный слои керна с учетом слоев с различным цветом, запахом и консистенцией. Учет численности микроорганизмов исследуемых эколого-трофических групп определяли методом предельных разведений (титрационный метод) [Руководство по методам ... , 1980]. Данный метод удобен для выявления микроорганизмов определенных физиологических групп (в том числе анаэробных). Посев производили в жидкие элективные среды, по составу максимально приближенные к естественным. В работе использовали среды Ворошиловой – Диановой с содержанием 2 % нефти (для углеводородоксиляющих микроорганизмов), AMS-NMS (для метанотрофных микроорганизмов), среду для сульфатредуцирующих бактерий с добавлением лактата в качестве единственного источника углерода. Для создания анаэробных условий использовали метод выращивания в высоком слое среды с дополнительным удалением кислорода путем кратковременного повышения тем-

пературы среды и кипячения. Культивирование проводили при различных температурах для определения оптимума роста. Учет исследуемых экологотрофических групп микроорганизмов осуществляли на седьмые сутки. Наличие или отсутствие роста отмечали визуально по помутнению среды, образованию пленки или осадка. Наиболее вероятную численность устанавливали по таблице Мак-Креди [Практикум по микробиологии, 1976]. Для анализа содержания метана использовали газовый хроматограф «Кристаллюкс-4000М» (ЗАО «Мета-Хром», г. Йошкар-Ола), оснащенный пламенно-ионизационным детектором. Для расчетов и систематизации полученных в рейсе данных применялись электронные таблицы Microsoft Excel. Получаемые данные непосредственно после обработки вводились в геоинформационное приложение ArcGis 10.5 для интерпретации. Визуализацию сульфидных конкреций в высоком разрешении осуществляли с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на базе отделения электронной микроскопии «Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского» Дальневосточного отделения Российской академии наук. Использовали сканирующий электронный микроскоп Evo 40 CarlZeissAG, Германия.

Результаты исследования

Углекислородоокисляющие микроорганизмы встречались во всех трех районах исследования, в основном в поверхностном (окисленном) слое. В первом углекислородоокисляющие микроорганизмы были найдены на глубинах моря от 180 до 1350 м в окисленном слое. Наибольшей их численность была на глубинах 500–700 м. С увеличением глубины численность снижалась. Вероятно, это объясняется уменьшением содержания кислорода, необходимого для утилизации углеводов нефти.

Первый район исследования расположен на внешней бровке шельфа и материковом склоне. По данным проведенной экспедиции и литературных источников, здесь находится мощная меридиональная разломная зона, в пределах зоны динамического влияния которой обнаружены аномалии метана, проявления сероводорода и аутигенной сульфидной минерализации (марказит) в осадках [Икаит в зоне метановой ... , 2020].

Метанотрофные микроорганизмы в этом районе были отмечены на глубине моря 400 м. На станции LV88-01GC метанотрофные микроорганизмы присутствовали, но их численность была невысокой (10 кл/г осадка). На станции LV88-03GC наблюдалась наибольшая численность метанотрофных микроорганизмов ($2 \cdot 10^4$ кл/г), отмечено присутствие сульфатредуцирующих микроорганизмов. Присутствие сульфатредукторов указывает на накопление органических веществ, что ведет к интенсивному восстановлению сульфата и выделению сероводорода. Восстановление сульфата – важный фактор минерализации органического вещества в донных отложениях. К тому же известно, что анаэробное окисление метана является сульфатзависимым и осуществляется метанотрофными микроорганизмами в присутствии сульфатредукторов [Depth Distribution and ... , 2017]. Таким образом можно объ-

яснить нахождение и высокую численность этих групп микроорганизмов в данной точке отбора.

Второй полигон занимает шельф и склон осадочного бассейна Фу Хань. На станции LV88-27GC (рис. 2) с глубиной 1100 м зафиксированы высокие концентрации метана (725 нМ/кг) по сравнению со средним значением (300 нМ/кг). При этом численность метанотрофов относительно других точек отбора оставалась невысокой ($1,7 \cdot 10^2$ кл/мл).

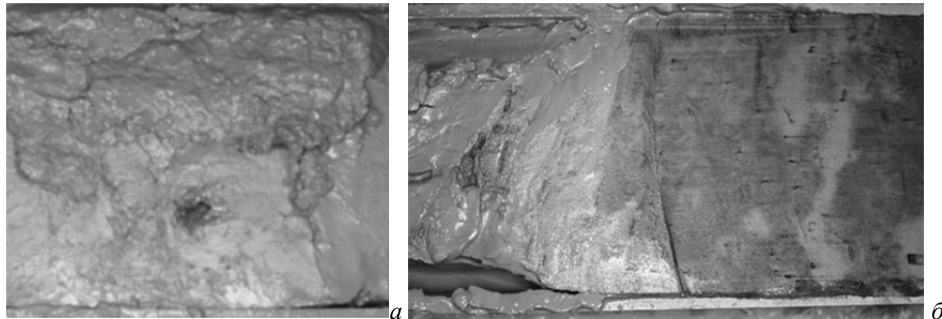


Рис. 2. а – гидротроилит, обнаруженный на станции LV88-20GC;
б – сплошной слой гидротроилита

Интересным наблюдением является то, что на станции LV88-20GC (см. рис. 2) было отмечено наличие сульфатредуцирующих микроорганизмов по всей длине отобранного керна. Численность составила $3 \cdot 10^4$ – $5 \cdot 10^4$ кл/г, что выше, чем на других станциях. Эта станция характеризовалась наличием темных прослоев гидротроилита (см. рис. 2) и марказита (рис. 3) в отобранном керне. Обильная сульфидная минерализация обнаруживалась с горизонта, расположенного на 30 см ниже дна.

Присутствие сульфатредуцирующих микроорганизмов может свидетельствовать о том, что в донных отложениях исследуемых проб идут активные процессы восстановления сульфатов. В ходе восстановления сульфата бактериями образуется сероводород. Большая часть сероводорода вступает в реакцию с ионами металлов с образованием сульфидов металлов. Эти сульфиды, например сульфид железа (FeS) черного или коричневого цвета, могут являться сульфидными образованиями (гидротроилит, марказит).

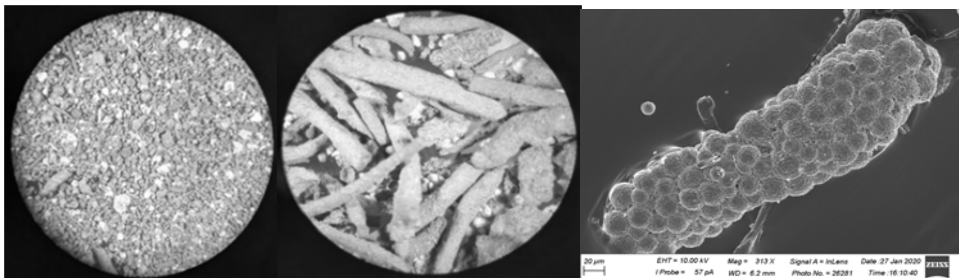


Рис. 3. Образцы сульфидных конкреций (марказит) при разном увеличении

Следует отметить, что на данном полигоне на станции LV88-42 GC обнаружена большая концентрация метана (3422 нМ/кг) и высокая численность метанотрофов по всей длине керна ниже окисленного слоя до 150 см. В поверхностном слое и до указанного значения метанотрофных микроорганизмов не обнаружено. На горизонте 200 см был выявлен аутигенный органо-минеральный агрегат [Икайт в зоне метановой ... , 2020] (рис. 4).

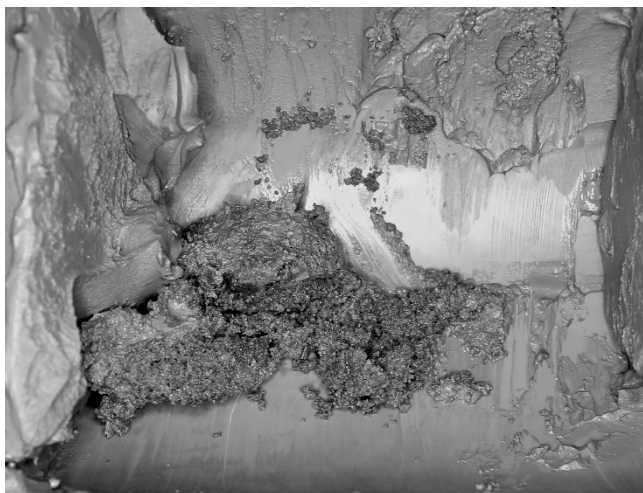


Рис. 4. Аутигенный органо-минеральный агрегат, обнаруженный на станции LV88-42 GC

В этом же керне осадка обнаружены сразу три исследуемые группы микроорганизмов: метанотрофные, углеводородокисляющие и сульфатредуцирующие. Этот район исследований отличался большим количеством глубоководных станций, метанотрофы в основном встречались на глубинах больше 800 м. Причем рост метанотрофов на глубинах больше 2000 м отмечался только при низкой температуре (4 °С).

Северный район характеризуется небольшими глубинами моря (до 500 м). Работы проводились на шести станциях. Повышенные концентрации метана зафиксированы на станциях LV88-55 и LV88-56GC (610 и 440 нМ/кг соответственно), здесь наблюдался рост метанотрофных микроорганизмов. На других станциях микроорганизмы не были обнаружены. Отмечается присутствие сульфатредукторов в исследуемых точках отбора, но с небольшой численностью (10 кл/г). Углеводородокисляющие бактерии выявлены только на станции LV88-50GC (рис. 5) небольшой численностью ($2,5 \cdot 10^2$ кл/г). Углеводородокисляющие микроорганизмы найдены в окисленном слое (как и в других исследуемых районах) на глубине 340 м. Этот район исследован не так детально, как предыдущие, поэтому полученные результаты будут уточняться в последующих экспедициях.

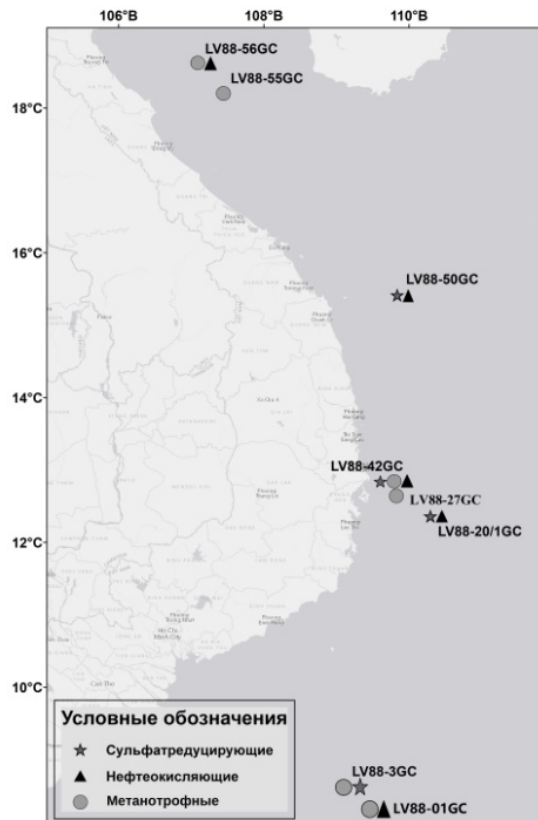


Рис. 5. Распределение исследуемых групп микроорганизмов по станциям

Выводы

Угледородоокисляющие микроорганизмы встречались во всех трех районах исследования в основном в поверхностном (окисленном слое). В южном численность рассматриваемых микроорганизмов больше по сравнению с численностью в пробах, отобранных в центральном и северном районах исследования. Выявлено, что численность угледородоокисляющих микроорганизмов уменьшается с глубиной. Предположительно, это может быть связано с уменьшением содержания кислорода, необходимого для окисления.

Метанотрофы и сульфатредукторы в основном были зафиксированы в восстановленном слое донных отложений (более 400 м от поверхности дна). Нахождение этих групп микроорганизмов вместе может объясняться тем, что метан может использоваться как субстрат, в котором метанотрофные микроорганизмы активируют молекулу метана, а сульфатредукторы выступают в роли акцептора электронов.

Наибольшая численность метанотрофных микроорганизмов была отмечена на станциях LV88-03GC и LV88-20GC, эти станции характеризуются самой высокой концентрацией метана в осадках. С увеличением глубины

численность метанотрофных микроорганизмов снижалась. В окисленном слое этих групп не отмечено. С глубины моря 2000 м на южном и центральном участках исследования отмечается рост метанотрофов именно в условиях низких температур культивирования.

Высокая численность сульфатредуцирующих микроорганизмов может свидетельствовать о том, что в донных отложениях исследуемых проб идут активные процессы восстановления сульфатов с образованием сероводорода. Вступая в реакцию с ионами металлов, сульфаты могут образовывать включения темного цвета (гидротроилиты), а также марказиты. Марказиты присутствуют практически во всех шлихах станций.

Исследуемые группы микроорганизмов встречались во всех трех районах поиска, на станции LV88-42 GC обнаружены сразу три группы микроорганизмов.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы FWMM-2019-0006 «Исследование состояния и изменений природной среды на основе комплексного анализа и моделирования гидрометеорологических, биогеохимических, геологических процессов и ресурсов Дальнего Востока» (регистрационный номер № АААА-А19-119122090009-2. ТОИ ДВО РАН) и гранта РФФИ № 20-35- 70014 «Исследование взаимосвязи газогеохимических полей, тектоники, геодинамической обстановки и нефтегазоносности, определяющих характер геологического развития и углеводородного потенциала региона Северного Вьетнама».

Работа выполнена в рамках гранта №13.1902.21.0012 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Фундаментальные проблемы изучения и сохранения глубоководных экосистем в потенциально рудоносных районах северо-западной части Тихого океана».

Экспедиционные работы проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Госзадания ТОИ ДВО РАН. Работа частично поддерживается грантами РФФИ № 18-05-00153, а также программы «Дальний Восток» (20-ВАНТ-010 (VAST QTRU 02.02/20-21); 19-019 (QTRU02.03/19-20) и 18-1-008). Экспедиция включена в план дорожной карты совместных морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии науки Вьетнамской академией наук и технологий (2018–2025 гг.),

Список литературы

Глубинное строение континентальных окраин региона Южно-Китайского моря / А. Г. Родников, Л. П. Забаринская, В. А. Рашидов, Н. А. Сергеева, М. В. Нисилевич // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. Вып. 18, № 2. С. 52–72.

Икаит в зоне метановой аномалии на континентальном склоне Японского моря / Р. Б. Шакиров, А. В. Сорочинская, А. В. Яцук, К. И. Аксентов, А. А. Карабцов, В. И. Вовна, И. С. Осьмушко, В. В. Короченцев // Вестник Камчатской региональной организации учебно-научный центр. Серия Науки о Земле. 2020. № 2 (46). С. 72–84.

Практикум по микробиологии /под ред. Н. С. Егоров. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1976. 307 с.

Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений / под ред. А. В. Цыбань. Л. : Гидрометеоиздат, 1980. 192 с.

Energy Gradients Structure Microbial Communities Across Sediment Horizons in Deep Marine Sediments of the South China Sea / M. F. Graw, G. D'Angelo, M. Borchers, A. R. Thurber, J. E. Johnson, C. Zhang, H. Liu, F. S. Colwell // *Front. Microbiol.* 2018. Vol. 9. P. 1-12 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00729>

Depth Distribution and Assembly of Sulfate-Reducing Microbial Communities in Marine Sediments of Aarhus Bay / L. M. Jochum, X. Chen, M. A. Lever, A. Loy, B. B. Jørgensen, A. Schramm, K. U. Kjeldsen // *Applied and environmental microbiology.* 2017. Vol. 83, N 23. P. 01547-17. <https://doi.org/10.1128/AEM.01547-17>

Jilan S. Overview of the South China Sea circulation and its influence on the coastal physical oceanography outside the Pearl River Estuary // *Continental Shelf Research.* 2004. Vol. 24 (16). P. 1746–1760. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.06.005>

Wu J.-M. A history of oil and gas exploration in the central and northern parts of the South China Sea // *Energy.* 1985. Vol. 10, № 3–4. P. 413–419. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(85\)90057-X](https://doi.org/10.1016/0360-5442(85)90057-X)

The Characteristics and Distribution of Indicator Microorganisms in the Marine Sediments from the South-China Sea

A. I. Eskova, A. L. Ponomareva, A. A. Legkodimov, V. Yu. Kalgin, R. B. Shakirov, A. I. Obzhirov

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation

Abstract. The South China Sea is a fairly well researched area. Areas of the continental shelf have been studied to a lesser extent. They are characterized by places of gas, hydrocarbon sources and oil and gas fields. The studies were carried out during the Russian-Vietnamese geological and geophysical expedition of the POI FEB RAS during the 88th cruise of the R/V “Akademik M.A. Lavrent'yev” (October 25 – December 08, 2019). The area of work included about the Vietnamese water area of the South China Sea (the area of the Nam Con Son basin, the area of the central Vietnamese shelf and slope (Fu Han basin), and the area of the sedimentary basin of the Red River). Geological sampling of bottom sediments was carried out at sea depths from 50 to 2400 m. We studied the distribution and abundance of methanotrophic, hydrocarbon-oxidizing and sulfate-reducing microorganisms in different horizons in core of bottom sediments. The dependence of the distribution of indicator groups of microorganisms on the sampling depth is considered. The studies carried out allowed us to conclude that there is a high degree of correlation between the number of microorganisms and changes in the concentration of methane in the core. The features of the growth of the studied groups of microorganisms at different temperatures of cultivation are noted. It is shown that the possible participation of sulfate-reducing microorganisms in the formation of sulfide mineralization (hydrotroilite and marcasite) in the sediment.

Keywords: South-China Sea, marine sediments, methanotrophs, hydrocarbon-oxidizing, sulfate-reducing microorganisms, sulphide nodules.

For citation: Eskova A.I., Ponomareva A.L., Legkodimov A.A., Kalgin V.Yu., Shakirov R.B., Obzhirov A.I. The Characteristics and Distribution of Indicator Microorganisms in the Marine Sediments from the South-China Sea. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2020, vol. 33, pp. 33-43. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.33>. (in Russian)

References

Rodnikov A.G., Zabarinskaja L.P., Rashidov V.A., Sergeeva N.A., Nisilevich M.V. Glubinnoe stroenie kontinentalnyh okrain regiona Juzhno-Kitajskogomorja [Deep structure of the continental margins of the South China sea region]. *Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle*, 2011, no. 2, iss.18, pp. 52-72 (in Russian)

Shakirov R.B., Sorochinskaja A.V., Jacuk A.V., Aksentov K.I., Karabcov A.A., Vovna V.I., Osmushko I.S., Korochencev V.V. Ikait v zone metanovoj anomalii na kontinentalnom sklone Japonskogo morja [Ikait in the zone of methane anomaly on the continental slope of the sea of Japan]. *Vestnik Kamchatskoj regionalnojorganizaciiuchebno-nauchnyjcentr. serija: Nauki o Zemle*, 2020, no. 2 (46), pp. 72-84 (in Russian)

Egorov N.S. *Praktikum po mikrobiologii* [Workshop on Microbiology]. Moscow, Moscow State Univ. Publ., 1976, 307 p. (in Russian)

Rukovodstvo po metodam biologicheskogo analiza morskoi vody i donnykh otlozhenii [A guide to the methods of biological analysis of sea water and bottom sediments]. Ed. A.V. Tsyban. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1980, 192 p. (in Russian)

Graw M.F., D'Angelo G., Borchers M., Thurber A.R., Johnson J.E., Zhang C., Liu H., Colwell F.S. Energy Gradients Structure Microbial Communities Across Sediment Horizons in Deep Marine Sediments of the South China Sea. *Front. Microbiol.*, 2018, vol. 9, pp. 1-12 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00729>

Jochum L.M., Chen X., Lever M.A., Loy A., Jørgensen B.B., Schramm A., Kjeldsen K.U. Depth Distribution and Assembly of Sulfate-Reducing Microbial Communities in Marine Sediments of Aarhus Bay. *Applied and environmental microbiology*, 2017, vol. 83, no. 23, pp. 01547-17. <https://doi.org/10.1128/AEM.01547-17>

Jilan S. Overview of the South China Sea circulation and its influence on the coastal physical oceanography outside the Pearl River Estuary. *Continental Shelf Research*, 2004, vol. 24, no. 16, pp. 1746-1760. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.06.005>

Wu J.-M. A history of oil and gas exploration in the central and northern parts of the South China Sea. *Energy*, 1985, vol. 10, no. 3-4, pp. 413-419. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(85\)90057-X](https://doi.org/10.1016/0360-5442(85)90057-X)

Еськова Алёна Игоревна

научный сотрудник, лаборатория комплексного исследования окружающей среды и минеральных ресурсов Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН Россия, 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43
e-mail: alena-esya@mail.ru

Eskova Alena Igorevna

Researcher, Laboratory of Comprehensive Study of the Environment and Mineral Resources V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russian Federation
e-mail: alena-esya@mail.ru

Пonomарева Анна Леонидовна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория комплексного исследования окружающей среды и минеральных ресурсов Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН Россия, 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, 43
e-mail: giston@list.ru

Ponomareva Anna Leonidovna

Candidate of Sciences (Biology), Senior Research Scientist, Laboratory of Comprehensive Study of the Environment and Mineral Resources V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS 43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041, Russian Federation
e-mail: giston@list.ru

Легкодимов Алексей Александрович
аспирант
Тихоокеанский океанологический
институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН
Россия, 690041, г. Владивосток,
ул. Балтийская, 43
e-mail: alexey.legkodimov@gmail.com

Калгин Владислав Юрьевич
аспирант
Тихоокеанский океанологический
институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН
Россия, 690041, г. Владивосток,
ул. Балтийская, 43
e-mail: kalgin.vladislav@yandex.ru

Шакиров Ренат Белалович
доктор геолого-минералогических наук,
заведующий, лаборатория газогеохимии
Тихоокеанский океанологический
институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН
Россия, 690041, г. Владивосток,
ул. Балтийская, 43
e-mail: ren@poi.dvo.ru

Обзhiров Анатолий Иванович
доктор геолого-минералогических наук,
заведующий, лаборатория комплексного
исследования окружающей среды
и минеральных ресурсов
Тихоокеанский океанологический
институт им. В. И. Ильичева ДВО РАН
Россия, 690041, г. Владивосток,
ул. Балтийская, 43
e-mail: obzhиров@poi.dvo.ru

Legkodimov Aleksey Aleksandrovich
Postgraduate
V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute
FEB RAS
43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041,
Russian Federation
e-mail: alexey.legkodimov@gmail.com

Kalgin Vladislav Yur'evich
Postgraduate
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute
FEB RAS
43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041,
Russian Federation
e-mail: kalgin.vladislav@yandex.ru

Shakirov Renat Belalovich
Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy),
Head, Laboratory of Gas Geochemistry
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute
FEB RAS
43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041,
Russian Federation
e-mail: ren@poi.dvo.ru

Obzhиров Anatoly Ivanovich
Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy),
Head, Laboratory a Comprehensive Study
of the Environment and Mineral Resources
V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute
FEB RAS
43, Baltiyskaya st., Vladivostok, 690041,
Russian Federation
e-mail: obzhиров@poi.dvo.ru