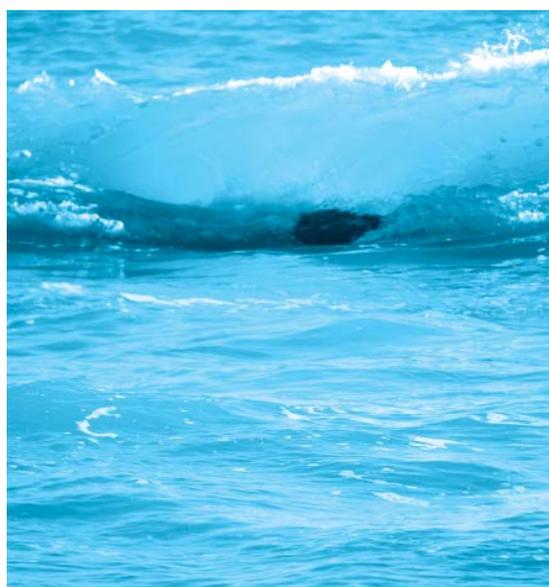


Железо-марганцевые микроорганизмы В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ Севастопольской бухты и прилегающих участков юго-западной части **КРЫМСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ**

Изучалось распространение основных групп железо-марганцевых бактерий в донных отложениях Севастопольской бухты и прилегающих участков юго-западной части побережья Крыма. Пробы донных отложений, взятые по всей длине Севастопольской бухты и за её пределами вдоль юго-западной оконечности Крымского шельфа, исследовались по методике капиллярных пелоскопов. Железо-марганцевые бактерии были найдены во всех отобранных в Севастопольской бухте пробах грунта и трех пробах донных отложений на выходе из бухты, но отсутствовали в двух пробах, взятых за ее пределами. В исследованных пробах преобладают представители следующих родов железо-марганцевых бактерий: *Arthrobacter*, *Metallogenium*, *Naumanniella*, *Siderocapsa*, *Leptothrix*.



Введение

Изучение процессов биологического окисления восстановленных соединений железа и марганца, осуществляемых железобактериями, имеет большое значение при решении проблемы генезиса железо-марганцевых месторождений осадочного типа, при изучении геохимических процессов круговорота железа и марганца в земной коре. Исследованиями [1, 2] показано, что разработка подобного рода вопросов становится особенно актуальной в связи с задачами эксплуатации минеральных ресурсов океана, в частности, добычей океанских руд. Не менее важным является выяснение роли биологического фактора в образовании нерастворимых окислов металлов. Микроорганизмы, проявляя геохимическую деятельность, выступают в качестве специфических

Ю.Л. Ковальчук,
кандидат
биологических наук,
старший научный
сотрудник, ФГБУН
Институт проблем
экологии и эволюции
им. А.Н. Северцова
Российской
академии наук

катализаторов окисления и концентрации железа и марганца. При их участии происходит образование $MnCO_3$ в виде родохрозита – минерала, который является основным в карбонатных рудах осадочных месторождений марганца.

В работе [3] отмечен широкий ареал распространения микроорганизмов, способных окислять и концентрировать на клеточной поверхности марганец и железо, способствуя таким образом седиментации последних в донные отложения (ДО).

Наиболее распространенным видом железобактерий в водоёмах закрытого типа является вид *Siderocapsa = Arthrobacter*. Этим микроорганизмам принадлежит основная роль в осаждении железа из комплексных соединений гуматов железа в природных водах [4]. Преобладающим в озёрах является вид *Metallogenium personatum*. Развитие этого



организма может происходить в широком интервале концентраций кислорода и марганца, но оптимальные условия создаются при достаточной аэрации водной массы. Температурный фактор не оказывает существенного влияния на его распространение [5]. Следует отметить в водоемах закрытого типа наличие железобактерий вида *Ochrobium bectum*, которые чаще всего встречались при содержании железа не менее 0,5-1 мг/л. Тяжёлые оруднённые клетки и микроколони *Ochrobium* быстро погружаются на дно, образуя нередко охристый налёт на поверхности ила [4].

Такой вид как *Gallionella* осаждает только окислы железа, но не марганца и чаще всего встречается в виде обрастаний в грунтах [4]. Температурный фактор также не оказывает существенного влияния на его развитие.

Приведенные литературные данные свидетельствуют о широком ареале распространения железобактерий и большом диапазоне условий, в которых они могут существовать, проявляя геохимическую деятельность. Окислительная способность железобактерий приводит к тому, что железо и марганец, поступившие в водоем со стоком или из восстановленного горизонта ДО, не рассеиваются, а сравнительно быстро окисляются и концентрируются в ДО.

В зависимости от интенсивности подтока соединений железа и марганца в водоем, богатства грунта органическим веществом, величина окислительно-восстановительного потенциала ДО и характера окислительных условий в литоральной зоне на поверхности ила происходит образование марганцевой или железистой микрозоны либо озерной железомарганцевой руды.

На образование руд в морских осадках с участием микроорганизмов указывали ряд зару-

О.П. Полтаруха*,
кандидат
биологических наук,
старший научный
сотрудник, ФГБУН
Институт проблем
экологии и эволюции
им. А.Н. Северцова
Российской
академии наук

Г.В. Жданова,
кандидат технических
наук, заведующий
кафедрой,
Севастопольский
национальный
университет
ядерной энергии
и промышленности

бежных авторов. Так, исследования [6, 7] посвящены процессам микробиологического окисления и восстановления марганца и железа в природных условиях. Авторами исследованы микроорганизмы, окисляющие марганец и железо, подчеркнута их значение в генезисе осадочных марганцевых руд.

В работе [8] при использовании метода капиллярной микроскопии [9] в грунтах северо-западной части Индийского океана и Красного моря выявлены микроорганизмы, аккумулирующие окислы железа и марганца в виде микроконкреций. Они отнесены к родам *Arthrobacter*, *Naumanniella*, *Caulococcus*, *Metallogenium*, *Hyphomicrobium*, *Gallionella*. Характерно, что ДО во всех 13 отобранных пробах были представлены различного рода илами (глинисто-карбонатный, глинисто-алевритовый, алеврито-глинистый, полужидкий и т.д.). На основании полученных данных авторы утверждают, что образование окислов металлов, в частности железа и марганца, формирование конкреций идёт с участием различных групп микроорганизмов в таких экстремальных условиях, как термальные рассолы на дне Красного моря и глубоководные осадки Индийского океана.

Результаты исследований роли микроорганизмов в трансформации соединений железа и марганца были обобщены в монографии [10].

Цель настоящей работы – изучить распространение основных групп железо-марганцевых бактерий в ДО Севастопольской бухты и прилегающих участков юго-западной части побережья Крыма.

Материалы и методы исследования

Для получения информации об участии микроорганизмов в формировании конкреций были отобраны пробы грунта по всей длине Севастопольской бухты и за её пределами вдоль юго-западной оконечности Крымского шельфа. Для изучения морфологии микробных пейзажей использовали методику капиллярных пелоскопов [9]. Основными преимуществами капиллярной методики являются:

1) выявление и расшифровка микробных пейзажей ила путём воспроизведения в пелоскопах пространственного расположения микроорганизмов, свойственного их развитию в природе;

* Адрес для корреспонденции: poltarukha@rambler.ru

2) выявление большого количества новых родов и видов, широко распространенных в природе, но оставшихся неизвестными в силу особенностей их строения и условий обитания;

3) воспроизведение в лабораторных условиях начальных стадий рудообразования и получение весомых доказательств биологической природы этого процесса.

Накопительные культуры железо-марганцевых микроорганизмов получали в жидкой среде Диановой-Ворошиловой [11]) с добавлением лимоннокислого железа и уксуснокислого марганца в концентрации 0,01 %.

Пробы ДО исследуемой акватории были отобраны дночерпателем Петерсона. На *рис. 1* показаны места отбора проб.

Ключевые слова:

железо-марганцевые микроорганизмы, побережье Крыма, донные отложения

пробе отмечены палочковидные клетки, окрашенные в красноватый цвет. Колонии-микроконкреции подобной формы по имеющемуся в литературе морфологическому описанию следует отнести к роду *Arthrobacter*.

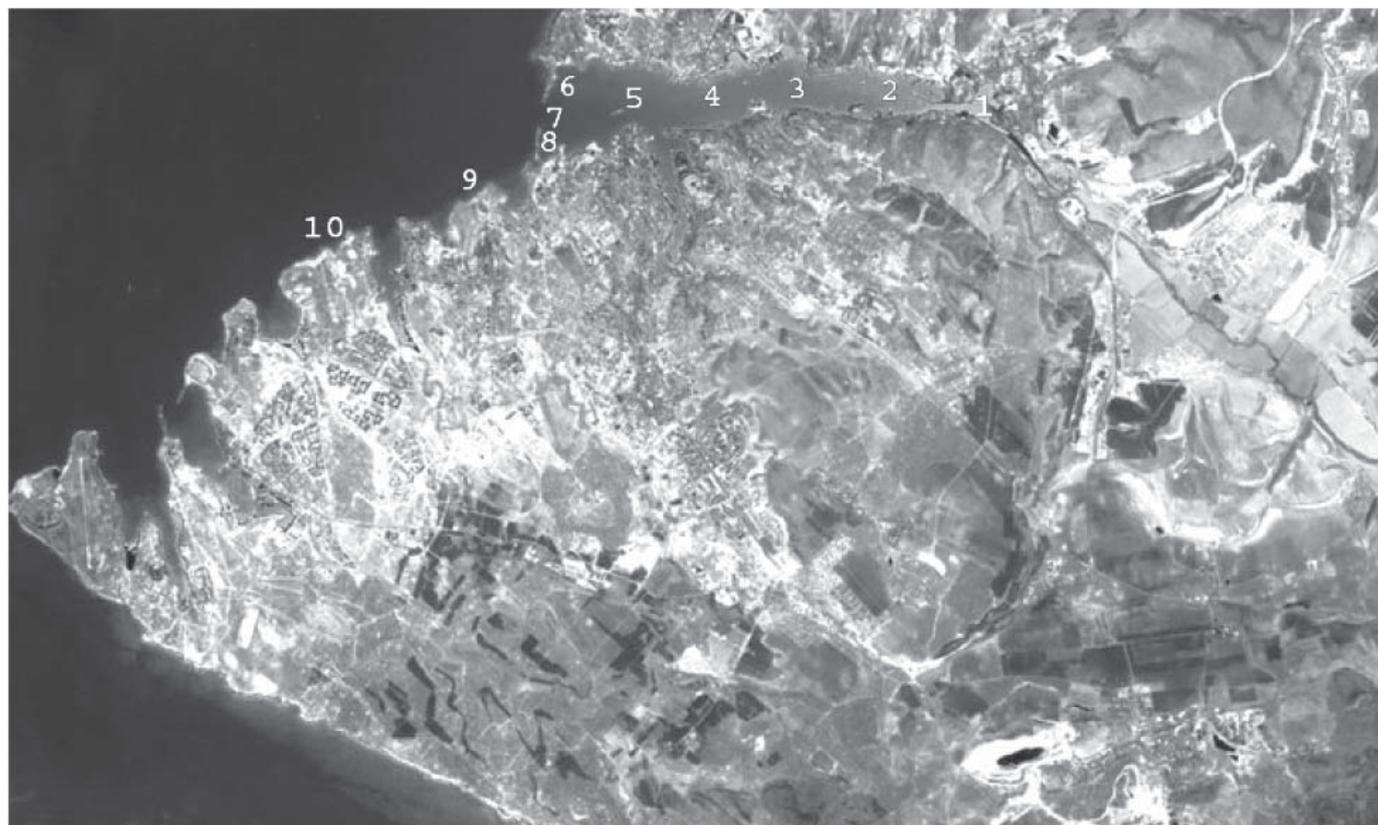
При микрокопировании стекл обрастания, находившихся в жидкой среде, в пробе № 1 были выявлены обрастания в виде микрозон охристого цвета. При этом замечено, что через 2 недели после постановки опыта микрозоны стекл состоят из слабо наметившихся «бляшек» и лишь через месяц на них были видны орудневшие плотные колонии темно-коричневого цвета. На стекле были также видны колонии-микроконкреции в виде пучка. В центре находилось несколько округлых клеток, давших начало новой колонии. В отходящих от них отростках чётко прослеживается тонкая нить, несущая кокковидные клетки. Морфология этого обрастания присуща роду *Metallogenium*. На среде с уксуснокислым марганцем в пелоскопе были отмечены круглые клетки, окружённые капсулой правильных очертаний, что типично для рода *Naumanniella*.

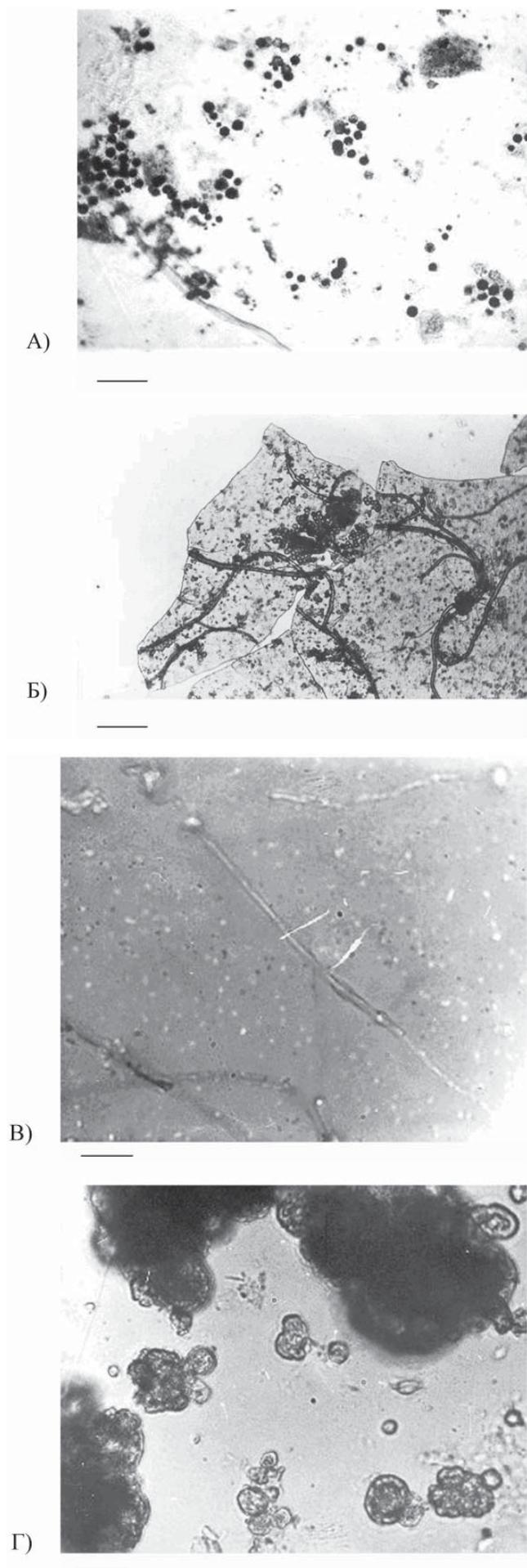
В микропейзаже грунта в алевритово-пелитовых илах пелоскопы выявили обрастания *Leptothrix*. Морфология этого рода представлена неподвижными длинными нитями кра-

Результаты и их обсуждение

Характер грунта – алевритово-пелитовые илы, пелитовый ил черного цвета; некоторые образцы ила отличались резким запахом сероводорода и нефти. Микрокопирование капилляров, извлечённых из пробы, взятой в вершине бухты, выявило преобладание колоний-микроконкреций округлой формы, красновато-жёлтого цвета с диаметром до 20 мкм. Одновременно в этой

Рис. 1. Места отбора проб донных отложений. Число – номер пробы.





сноватого цвета с равномерно расположенными по всей длине нити клетками. В микропейзажах пелоскопов, извлеченных из пробы ст. 2 и 3 выявлены представители всех выше перечисленных родов, что следует объяснить близкими по составу физико-химическими свойствами грунтов. В пробе ст. № 4 помимо выше указанных отмечено ещё 2 рода – *Gallionella* и *Siderocapsa*. Для рода *Gallionella* присущи орудненные клетки округлой формы, которые давали начало закрученным нитям. Колонии-микроконкреции рода *Siderocapsa* очень похожи на микроконкреции рода *Arthrobacter*.

В работах [8, 10] отмечено, что ранее железобактерии рода *Arthrobacter* были отнесены к роду *Siderocapsa*, но при более детальном изучении морфологии этих клеток замечен переход палочковидных форм в кокковидные. В пробе грунта ст. 5 в пелоскопе помимо железобактерий содержались и серобактерии, кокковидные клетки с прозрачными светящимися включениями серы.

В ДО на выходе из бухты обнаружены как молодые, слабо орудневшие, так и сильно омарганцованные колонии красного цвета. Отмечены также лентообразные перекрученные ожелезнённые нити, отходящие от бактериальных клеток-спутников. В ДО проб ст. 9 и 10, где грунт представлен песком с примесью ракушки, колонии-микроконкреции не обнаружены.

Заключение

Анализ распространения разных морфологических групп железо-марганцевых бактерий показал, что они были найдены во всех отобранных в Севастопольской бухте пробах грунта и трех пробах ДО на выходе из бухты.

Присутствие в грунтах Севастопольской бухты микрофлоры, окисляющей и аккумулирующей железо и марганец, позволяет предположить её непосредственное участие в круговороте железа и марганца, а именно в образовании окисленных форм в виде микроконкреций. В микропейзажах образцов преобладали представители родов *Arthrobacter*, *Metallogenium*, *Naumanniella*, *Siderocapsa*, *Leptothrix*. Внешний вид под световым микроскопом некоторых железо-марганцевых бактерий, обнаруженных в ДО Севастопольской бухты, представлен на рис. 2.

← **Рис. 2.** Внешний вид под световым микроскопом некоторых железобактерий из ДО Севастопольской бухты. Масштаб 10 мкм. А) *Arthrobacter* sp.; Б) *Gallionella* sp.; В) *Leptothrix* sp.; Г) *Naumanniella* sp.

Литература

1. Дубинина Г.А. Биология железобактерий и их геохимическая деятельность. Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. М.: ИНМИ, 1977. 45 с.
2. Дубинина Г.А. Механизм окисления двухвалентного железа и марганца железобактериями, развивающимися при нейтральной кислотности среды // Микробиология. 1978. Т. 47. Вып. 4. С. 591–599.
3. Горленко В.М. Экология водных микроорганизмов / В.М. Горленко, Г.А. Дубинина, С.И. Кузнецов. М.: Наука, 1977. 289 с.
4. Гусев М.В. Микробиология: Учебник. 2-е изд. / М.В. Гусев, Л.А. Минеева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 376 с.
5. Яхонтова Л.К. Основы минералогии гипергенеза: Учеб. пособие // Л.К. Яхонтова, В.П. Зверева. Владивосток: Дальнаука, 2000. 331 с.
6. Ehrlich H.L. Manganese oxide reduction as a form of anaerobic respiration // Geomicrobiological Journal. 1987. V. 5. P. 423-431.
7. Schmidt F.G. New evidence of an organic contribution to manganese precipitation in iron-formation and review of sedimentary conditions in the Cuyuna north range, Minnesota / F.G. Schmidt, E.I. Robbins // Biomineralization; processes of iron and manganese / Skinner H.C.W., Fitzpatrick R.W., editors. Catena Suppl. 1992. V. 21. P. 399-419.
8. Новожилова М. И. Угледородоокисляющие микроорганизмы в морских водоемах / М.И. Новожилова, Л.Е. Попова, Ф.С. Березина, Г.В. Семенченко, Е.Ф. Величко, А.Л. Тастанов // Океанология. 1982. Т. 22. Вып. 2. С. 281-286.
9. Перфильев Б.В. Капиллярные методы изучения микроорганизмов / Б.В. Перфильев, Д.Р. Габе М.-Л.: Изд. АН СССР, 1961. 534 с.
10. Пиневиц А.В. Микробиология железа и марганца. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. 374 с.
11. Кузнецов С.И. Методы изучения водных микроорганизмов / С.И. Кузнецов, Г.А. Дубинина. М.: Наука, 1989. 288 с.



Yu.L. Kovalchuk, O.P. Poltarukha, G.V. Zhdanova

IRON-MANGANESE MICROORGANISMS IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE SEVASTOPOL BAY AND IN ADJOINING SITES OF THE SOUTHWEST CRIMEAN COAST

Distribution of the main groups of iron-manganese bacteria was studied in the bottom sediments of the Sevastopol bay and adjoining sites of the southwest Crimean coast. The samples of the bottom sediments were taken along the whole shoreline of the Sevastopol bay and outside it in the southwest direction of the Crimean off-shore. The samples were studied using a capillary peloscop technique. The iron-manganese bacteria were found in all samples of the bottom sediments collected in the Sevastopol bay and three samples of bottom sediments taken at the bay's outlet. There were no bacteria found in two samples taken outside the bay area. The dominant representatives of the following genera of the iron-manganous bacteria are as follows: *Arthrobacter*, *Metallogenium*, *Naumannella*, *Siderocapsa*, *Leptothrix*.

Key words: iron-manganese microorganisms, Crimean coastline, bottom sediments