

Воздействие МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ железо-марганцевых конкреций и сопутствующих им ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ на пелагические гетеротрофные

БАКТЕРИИ

Изучалась динамика численности морских гетеротрофных бактерий в присутствии донных отложений, мелкодисперсной фракции железо-марганцевых конкреций, а также их смеси. Эксперимент проводился в ходе 26-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» в лабораторных условиях на материале, собранном в Западно-Австралийской котловине (Индийский океан). Показано, что донные отложения могут служить для гетеротрофных бактерий источником органических веществ, а также субстратом для прикрепления. Добавление донных отложений стимулирует как развитие гетеротрофных бактерий, так и их оседание на дно вместе с частицами взвеси. Добавление мелкодисперсной фракции железо-марганцевых конкреций угнетает рост гетеротрофных бактерий за счет токсичного действия тяжелых металлов, выделяемых из конкреций в воду.



в настоящее время способ промышленной добычи конкреций неизбежно приводит к резкому повышению концентрации взвешенных частиц в морской воде в районе добычи [3]. Мало того, современные технологии, как правило, не предусматривают непосредственного использования ЖМК в качестве руды, а требуют ее предварительного обогащения [4]. Соответствующее обогатительное производство экономически целесообразно будет организовать вблизи места добычи конкреций, то есть зачастую в открытом океане, что приведет к поступлению в океан огромного количества взвешенного вещества в виде частиц грунта и мелкодисперсной фракции конкреций. При этом поступление взвешенных частиц, образующихся в качестве отходов обогатительного производства, может значительно превышать то, которое

Введение

В последние десятилетия во всем мире резко возрос интерес к использованию железо-марганцевых конкреций (ЖМК), которые покрывают огромные площади дна в открытых частях Тихого и Индийского океанов, а также в ряде других районов [1, 2]. Повышению интереса к этому виду полезных ископаемых способствует как рост мировых цен на многие металлы, так и постоянное совершенствование технологий освоения подводных месторождений, что может уже в ближайшее время сделать рентабельной промышленную добычу и использование ЖМК. Однако любой предлагаемый

Ю.Л. Ковальчук*,
кандидат
биологических наук,
старший научный
сотрудник,
Учреждение
Российской академии
наук Институт
проблем экологии
и эволюции
им. А.Н. Северцова
РАН (ИПЭЭ РАН)

* Адрес для корреспонденции: wtc-karpov@rambler.ru

прогнозируется в результате собственно добычи ЖМК. Даже при заглублинии основной массы взвеси под слой термоклина существенная ее часть будет попадать в верхние слои воды, характеризующиеся максимальной продуктивностью. Кроме того, даже находясь под слоем термоклина, мелкодисперсные фракции, характеризующиеся низкой скоростью седиментации, могут распространяться подводными течениями на большие расстояния и, достигнув зон апвеллинга, подниматься на поверхность.

В настоящее время в океан поступает большое количество взвешенных веществ, что обусловлено как природными (вынос терригенного материала за счет континентального стока, эрозия берегов и т.д.), так и антропогенными (сброс в море разного рода отходов, проведение гидротехнических работ) факторами. Однако указанные факторы действуют, главным образом, в прибрежье морей и океанов, тогда как в их открытой части содержание взвешенного вещества в воде продолжает оставаться стабильно низким. Природные факторы, способствующие поступлению большого количества взвешенного вещества в прибрежные районы Мирового океана, существовали на протяжении всей геологической истории. Соответственно, прибрежные экосистемы оказались в большей или меньшей степени адаптированы к происходящему в результате деятельности человека повышению концентрации взвешенных частиц, наблюдаемому в ряде случаев в прибрежных водах. Вместе с тем переход к массовой промышленной добыче ЖМК резко повысит концентрацию взвешенных веществ именно в открытом океане, где сосредоточены основные запасы конкре-

О.П. Полтаруха,
кандидат
биологических наук,
старший научный
сотрудник,
Учреждение
Российской академии
наук Институт проблем
экологии и эволюции
им. А.Н. Северцова РАН
(ИПЭЭ РАН)

ций. Экосистемы открытого океана формировались в условиях низкого содержания взвешенных частиц в воде, поэтому неясно, какое влияние окажет на них интенсивное поступление в воду мелкодисперсных донных отложений, к тому же обогащенных тяжелыми металлами.

В связи с этим целью настоящей работы было на примере гетеротрофных бактерий исследовать воздействие повышенной концентрации мелкодисперсных фракций ЖМК и сопутствующих им донных отложений на планктон верхнего горизонта пелагиали.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования проводились в ходе 26-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» в Индийском океане в районе Западно-Австралийской котловины. Образцы донных отложений, включающих ЖМК, брали с глубины около 5000 м. ЖМК отбирали и высушивали при 105 °С, после чего для получения мелкодисперсной фракции растирали в стерильной агатовой ступке до размеров частиц 0,2 мкм. Навески донных отложений, не содержащие конкреций и других крупных твердых включений, использовали в естественном влажном состоянии, но параллельно определяли их влажность для пересчета на сухую массу. Далее с борта судна на ходу стерильным батометром из нержавеющей стали с глубины 0,5–1,0 м отбирали пробы морской воды, которой заполняли стерильные стеклянные колбы объемом 1 л. Затем в каждую из девяти колб помещали определенное количество



Таблица 1

Количество донных отложений и мелкодисперсной фракции ЖМК (в пересчете на сухую массу), добавленной в экспериментальные сосуды

Номер сосуда	Масса внесенного вещества, мг	
	Донные отложения	Мелкодисперсная фракция ЖМК
1	20	-
2	40	-
3	60	-
4	-	25
5	-	50
6	-	100
7	20	25
8	40	50
9	60	100
10 (контроль)	-	-

донных отложений и/или мелкодисперсной фракции ЖМК, после чего колбы закрывали предварительно простерилизованными ватно-марлевыми пробками и оставляли в таком виде на протяжении всего эксперимента. Десятая колба служила контролем – туда к морской воде ничего не добавляли и ее также закрывали ватно-марлевой пробкой. Продолжительность экспозиции всех колб составляла 20 сут. Колбы экспонировались при естественном освещении и температуре 23-25 °С. Масса донного осадка и мелкодисперсной фракции ЖМК, внесенная в экспериментальные сосуды, указана в табл. 1.

Перед началом экспозиции, а также на 3, 6 и 9 сутки методом подсчета в камере Горяева [5, с изменениями] определяли фракционный состав взвеси в каждой колбе. Для этого стерильной микропипеткой из средней части колбы отбирали пробу воды. Эту пробу переносили на рабочую поверхность камеры Горяева, после чего камеру накрывали покровным стеклом, тщательно притирали его и подсчитывали под микроскопом количество частиц на четырех больших квадратах камеры. Площадь каждого квадрата составляла 1/25 мм², а объем воды над ним – 1/25 мм³. Содержание взвешенных частиц в 1 мл воды рассчитывали по формуле $a = 6,25 \cdot v \cdot 10^4$, где a – содержание взвешенных частиц в 1 мл воды, v – суммарное количество частиц в четырех квадратах камеры Горяева. При этом отдельно подсчитывалось количество частиц в каждой из трех размерных фракций: 1 – до 1,5 мкм; 2 – от 1,5 до 3,0 мкм; 3 – свыше 3,0 мкм.

Численность гетеротрофных бактерий перед началом экспозиции, а также на 3, 7, 10, 13 и

20 сутки определялась методом посева на твердую агаровую среду Горбенко № 4 [6].

Результаты и их обсуждение

Динамика численности гетеротрофных бактерий в контрольной и опытных колбах представлена на рис. 1 и 2-4, соответственно. В контрольной колбе развитие гетеротрофных бактерий соответствует известным закономерностям динамики популяций микроорганизмов в периодической культуре (рис. 1).

Численность бактерий достигает максимума на 3 сутки экспозиции, после чего начинает снижаться. В интервале 7-10 суток численность бактерий практически стабильна, после чего медленно снижается. При этом на 20 сутки экспозиции численность бактерий все еще превышает первоначальную.

В колбах с добавлением донных отложений (колбы № 1-3) первоначальное увеличение численности бактерий в воде было, в отличие от контроля, менее значительным, хотя и более продолжительным по времени – до 7-10 суток (рис. 2).

Затем наблюдается более резкое, чем в контроле, уменьшение численности бактерий, так что к концу эксперимента она была пример-

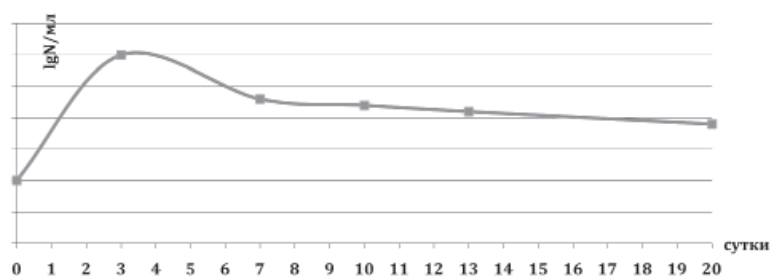


Рис. 1. Изменение логарифма концентрации (lgN/мл) гетеротрофных бактерий в контрольной колбе (№ 10).

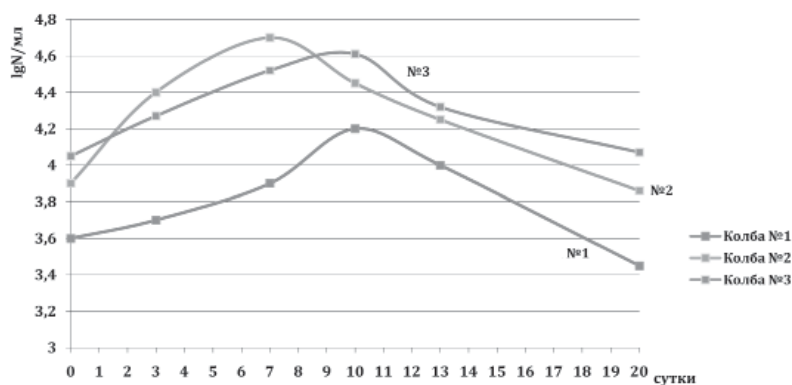


Рис. 2. Изменение логарифма концентрации (lgN/мл) гетеротрофных бактерий в колбах с добавлением донных отложений (№ 1, 2, 3).

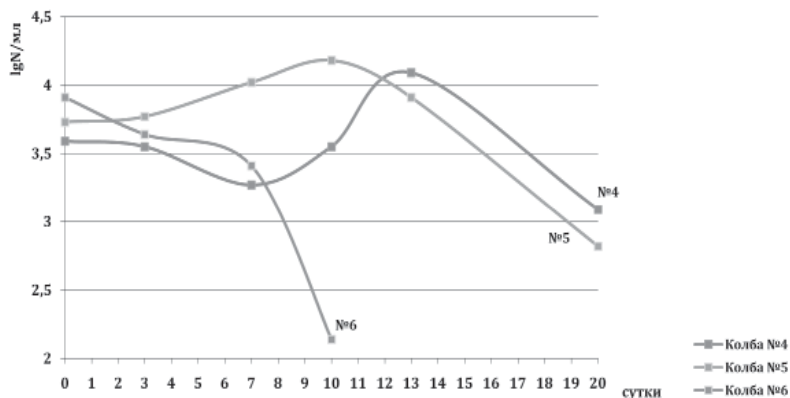


Рис. 3. Изменение логарифма концентрации (lgN/мл) гетеротрофных бактерий в колбах с добавлением мелкодисперсной фракции ЖМК (№ 4, 5, 6).

но равна или даже ниже исходной. При этом на 13 сутки эксперимента на частицах осадка в колбах 1-3 при 900-кратном увеличении были выявлены скопления палочковидных (длиной 1-1,5 мкм) и сферических (диаметром 0,8-1,0 мкм) клеток бактерий. По всей видимости, наблюдаемые по сравнению с контрольной колбой различия объяснимы развитием бактерий на взвешенных в воде частицах донных отложений. Это приводит к увеличению массы и размеров частиц и их оседанию на дно вместе с находящимися на их поверхности бактериями. В начальный период эксперимента, когда наблюдается интенсивное размножение бактерий, из-за оседания части бактерий на дно вместе с частицами взвеси, рост численности бактерий, находящихся в воде, происходит медленнее по сравнению с контрольной колбой. Во второй период эксперимента, когда численность бактерий после периода их усиленного роста стабилизируется и начинает постепенно уменьшаться, это уменьшение в колбах № 1-3 происходит быстрее, чем в контроле, также по причине оседания части бактерий



на дно вместе с частицами взвеси. Поскольку донные отложения служат источником необходимых для развития гетеротрофных бактерий органических и минеральных веществ, их добавление в колбы приводит к увеличению продолжительности периода интенсивного развития бактерий, что и видно из сравнения *рис. 1 и 2*.

В колбах с добавлением мелкодисперсных фракций ЖМК наблюдалось заметное угнетение микрофлоры (*рис. 3*).

При этом в колбе № 6, где концентрация мелкодисперсных фракций ЖМК была максимальной, численность гетеротрофных бактерий через 10 суток эксперимента упала почти на 2 порядка, а в дальнейшем наблюдалось практически полное подавление микрофлоры. В колбах № 4 и 5, где концентрация мелкодисперсных фракций ЖМК была ниже, чем в колбе № 6, отмечалось незначительное увеличение численности микроорганизмов, но начиная с 10-13 суток эксперимента происходит резкое снижение численности гетеротрофных бактерий, так что к концу наблюдений их численность

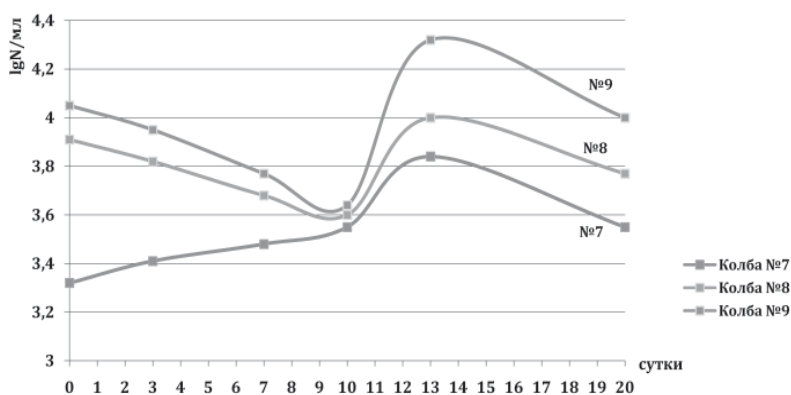


Рис. 4. Изменение логарифма концентрации (lgN/мл) гетеротрофных бактерий в колбах с добавлением донных отложений и мелкодисперсной фракции ЖМК (№ 7, 8, 9).

была ниже не только наблюдаемой в контрольной колбе, но и наблюдаемой в колбах 1-3.

Динамика численности гетеротрофных бактерий в экспериментальных колбах, содержащих донные отложения и мелкодисперсную фракцию ЖМК (рис. 4) объясняется различным влиянием этих двух добавок на развитие гетеротрофных бактерий.

Внесение небольшого количества донных отложений и мелкодисперсных фракций ЖМК приводит к торможению роста популяции микроорганизмов в первые 10 суток эксперимента из-за токсичного действия ЖМК, как видно на графике, относящемся к колбе № 7. Затем микроорганизмы постепенно адаптируются к токсичному действию ЖМК, и их численность в интервале 10-13 суток повышается более интенсивно. В дальнейшем наступает спад численности гетеротрофных микроорганизмов, вызванный недостатком питания. В колбах № 8 и 9 динамика численности гетеротрофных бактерий демонстрирует сходную картину за исключением того, что из-за большего количества мелкодисперсной фракции ЖМК вода в них содержит больше тяжелых металлов. Поэтому в колбах № 8 и 9 в первые десять суток эксперимента вместо умеренного роста численности микрофлоры наблюдается ее умеренное снижение. Однако в дальнейшем, как и в колбе № 7, происходит адаптация гетеротрофных бактерий к токсичному действию ЖМК. В период 10-13 суток эксперимента из-за большего количества донных отложений и, соответственно, органических веществ, в колбах № 8 и 9 наблюдается более интенсивный рост численности гетеротрофных бактерий. Также как и в колбе № 7 и, вероятно, по той же причине, после 13 суток эксперимента наблюдается снижение численности гетеротрофных бактерий.

В табл. 2 представлены данные о динамике перераспределения различных фракций взвеси в воде.

Естественно, что вследствие оседания взвешенных частиц, их концентрация в воде, за немногими исключениями, постепенно падает. При этом доля самой мелкой (до 1,5 мкм) фракции практически во всех случаях возрастает. Это связано не только с тем, что скорость ее оседания существенно ниже, чем у более крупных фракций, но и с тем, что к фракции до 1,5 мкм относятся гетеротрофные бактерии, численность которых в большинстве колб на 9 сутки была выше, чем к началу эксперимента. Линейная скорость оседания частиц разных размерных фракций донных отложений была рассчитана по таблице Свердрупа, Джонсона, Флеминга

Таблица 2

Динамика изменения концентраций частиц разных размерных фракций в опытных сосудах, 104 шт/мл

Номер сосуда	Срок экспозиции, сут	Размерная фракция		
		до 1,5 мкм	1,5-3,0 мкм	более 3,0 мкм
1	0	256,25	175,00	125,00
	3	210,50	120,00	45,00
	6	106,25	37,50	0,00
	9	106,25	25,00	0,00
2	0	737,50	375,00	162,50
	3	104,00	98,00	37,50
	6	93,75	37,50	6,25
	9	50,00	31,25	12,50
3	0	1012,50	918,75	500,00
	3	145,00	75,00	43,00
	6	62,50	18,75	18,75
	9	62,50	31,26	0,00
4	0	193,75	37,50	81,25
	3	75,00	31,25	18,75
	6	68,75	31,25	18,75
	9	31,25	37,50	0,00
5	0	356,25	218,75	300,00
	3	75,00	98,00	106,00
	6	37,50	31,25	43,75
	9	62,50	25,00	18,75
6	0	250,00	156,25	306,25
	3	62,50	18,75	37,50
	6	12,50	6,25	18,75
	9	37,50	0,00	12,50
7	0	406,25	368,75	293,75
	3	125,00	106,00	47,00
	6	25,00	25,00	18,75
	9	168,25	93,75	25,00
8	0	525,00	312,50	518,75
	3	Не определялось	Не определялось	Не определялось
	6	25,00	43,75	0,00
	9	125,00	81,25	62,50
9	0	1300,00	912,50	631,25
	3	168,25	106,00	168,00
	6	68,75	31,25	31,25
	9	43,75	25,00	31,25
10	0	50,00	0,00	6,25
	3	25,00	0,00	6,25
	6	25,00	25,00	6,25
	9	68,75	18,75	12,50

[7] исходя из того, что средняя плотность взвешенных частиц донных отложений составляет $1,1 \text{ г/см}^3$, а скорость оседания меняются пропорционально разности между плотностью частицы взвеси и окружающей воды. При этом средняя скорость оседания составила для частиц размерной фракции до $1,5 \text{ мкм}$ – $4,8 \text{ см/сут}$, для фракции $1,5\text{-}3,0 \text{ мкм}$ – $19,4 \text{ см/сут}$, для фракции свыше $3,0 \text{ мкм}$ – $77,4 \text{ см/сут}$. Аналогичным образом была рассчитана средняя скорость оседания взвешенных частиц ЖМК, плотность которых составляла $2,0 \text{ г/см}^3$. Эта скорость составила для частиц размерной фракции до $1,5 \text{ мкм}$ – $5,6 \text{ см/сут}$, для фракции $1,5\text{-}3,0 \text{ мкм}$ – 23 см/сут , для фракции свыше $3,0 \text{ мкм}$ – 90 см/сут .

Заключение

Результаты проведенного исследования свидетельствуют, что влияние промышленной добычи ЖМК и сброса в океан отходов их первичной переработки (обогащения) на гетеротрофные бактерии верхнего горизонта пелагиали может быть двояким. С одной стороны, поступление в воду донных отложений создаст для гетеротрофной микрофлоры дополнительный источник органических веществ и субстрата для обрастания, что будет стимулировать ее рост. С другой стороны, из попадающих в воду частиц

Ключевые слова:

гетеротрофные бактерии, железо-марганцевые конкреции, донные отложения, Индийский океан, Западно-Австралийская котловина

ЖМК, особенно мелкодисперсных, будут выщелачиваться тяжелые металлы. Их токсичное действие будет подавлять не только микрофлору, но и развитие большинства других групп гидробионтов.

Литература

1. Батулин Г.Н. Руды океана. М.: Наука, 1993. 304 с.
2. Гурвич Е.Г. Металлоносные осадки Мирового океана. М.: Научный Мир, 1998. 340 с.
3. Технология добычи полезных ископаемых со дна озер, морей и океанов / Под ред. В.В. Ржевского. М.: Недра, 1979. 381 с.
4. Теляков Н.М. Энергосберегающая технология переработки железомарганцевых конкреций / Н.М. Теляков, И.А. Федоров // Горный журнал. 1997. № 3. С. 15–19.
5. Владимирова М.Г. Интенсивная культура одноклеточных водорослей / М.Г. Владимирова, В.Е. Семенов. М.: Изд. АН СССР, 1962. 60 с.
6. Горбенко Ю.А. Экология морских микроорганизмов перифитона. Киев: Наукова думка. 1977. 252 с.
7. Sverdrup H.V. The oceans, their physics, chemistry and general biology / H.V. Sverdrup, M.W. Johnson, R.H. Fleming. New York, 1942. 1084 p.



Yu.L.Kovalchuk, O.P. Poltarukha

THE INFLUENCE OF FINE IRON-MANGANESE CONCRETION FRACTION AND BOTTOM SEDIMENTS ACCOMPANYING THEM ON PELAGIC HETEROTROPHIC BACTERIA

The marine heterotrophic bacteria dynamics in the presence of bottom sediments, fine iron-manganese concretion fraction, and also their admixtures was studied. These experiment was spent during 26-th cruise of RV «Professor Vodjaniitsky» in vitro on a material collected in the Western-Australian depression region (Indian ocean). It is shown that bottom

sediments can serve a source of organic substances for heterotrophic bacteria, and also substrate for their attachment. Addition of bottom sediments stimulates both development heterotrophic bacteria, and their settling-out for a bottom together with suspension particles. Addition of fine iron-manganese concretion fraction suppresses heterotrophic bacteria

growth because of toxic action of heavy metals which are allocated from concretion in water.

Key words: heterotrophic bacteria, iron-manganese concretions, bottom sediments, Indian Ocean, Western Australian depression