

ОКЕАНОЛОГИЯ
 Vol. II No. 6 - (1962)

KALI

Калиненко Белокопытова Николаева
 В. О. КАЛИНЕНКО, О. В. БЕЛОКОПЫТОВА, Г. Г. НИКОЛАЕВА

БАКТЕРИОГЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦОВЫХ КОНКРЕЦИЙ В ИНДИЙСКОМ ОКЕАНЕ

Институт океанологии АН СССР

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы железо-марганцовые конкреции привлекают внимание как источник редких элементов. Институт морских ресурсов Калифорнийского университета предложил проект, по которому вся потребность американской металлургии в стратегически ценных металлах может быть удовлетворена их выплавкой из железо-марганцовых конкреций, поднимаемых со дна открытых районов океана. В этом проекте подсчитано, что 1 т конкреций, полученная методом гидравлического драгирования, будет стоить от 3 до 5 долларов. В конкрециях содержится до 48% марганца, 1% кобальта, 1,4% никеля, 1,8% меди и ряд других редких и радиоактивных элементов.

Впервые о морских конкрециях упоминается после экспедиций на «Челленджере» в 1873—1876 гг. [24] и на «Веге» в 1878—1880 гг. в Баренцево и Карское моря [26]. Норденшельд [26] писал, что конкреции в Карском и Баренцевом морях находятся в количестве, пригодном для выплавки чугуна и железа, но отсутствие близких источников угля препятствует их металлургическому использованию.

Железо-марганцовые конкреции были обнаружены и в других морях нашей страны, а именно — в Белом (экспедиция Морского научного института, 1921), Черном [6], Балтийском [5]; Самойловым и Титовым [16] исследованы конкреции со дна Черного, Балтийского и Баренцева морей. В Черном море конкреции образуются главным образом на раковинках *Modiola* и имеют лепешковидную форму. В Балтийском море они по внешнему виду напоминают озерную «копеечную» руду.

Сотрудники Скрипсовского океанографического института [20, 23] обнаружили большое количество железо-марганцовых конкреций и корок, представлявших собой смесь окиси и гидроокиси марганца и железа с примесью других элементов, на подводных возвышенностях в глубоководной северо-восточной и юго-западной частях Тихого океана.

Во время экспедиций на «Витязе» железо-марганцовые конкреции найдены в большом количестве на красных глинах в центральной части северо-восточной котловины Тихого океана на глубине 5000—6000 м и в районе, расположенном к востоку от Гавайских островов (25° и 20° с. ш.) [17, 18].

КОНКРЕЦИИ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

В Индийском океане (33-й рейс э/с «Витязь») железо-марганцовые конкреции были собраны на нескольких станциях (табл. 1, рис. 1), глубины которых превышали 4000 м. На ст. 4890 конкреции были обнаружены и на меньших глубинах. Почти на всех станциях конкреции встречались на коричневых глинистых и известковых фораминиферовых илах.

Таблица 1

Характеристика станций, на которых были обнаружены железо-марганцевые конкреции в Индийском океане

№ ст.	Глубина, м	Характеристика грунта	Орудие сбора	Количество конкреций	Диаметр, см	Форма, цвет конкреций
06 4848	4753	Красная глина	Дночерпатель «Океан-50»	1	3,0	Овально-бугристая; поверхность гладкая; ядро плотное, черного цвета
05 4878	4676	Коричневый известковый фораминиферовый ил	То же	82,3% поверхности дночерпателя занято конкрециями (рис. 3)	От 2,0— до 8,0 большинство крупных. Средний размер 4,0	Многодольчатые, бугристые, сферические, овальные, плотные с гладкой поверхностью; ядро плотное
04 4885	4382		Трал Сигсби—Горбунова	Много мелких	От 2,0 до 3,0 несколько крупных, размером 4,0—7,0	Многодольчатые, с ржавым налетом, крупные, легко распадающиеся. В 3 экземплярах включения — зубы акул
01 4830	3603 3959	Красная глина Коричневый известковый фораминиферовый ил	Дночерпатель «Океан-50» Трал Сигсби—Горбунова	Много крупных Много	До 6,0 Средний размер—2,0	Лепешковидные, сферические; поверхность шероховатая, пористая, темно-коричневого цвета; ядро плотное
02 4837	4244		Дночерпатель «Океан-50»	Среднее количество	Большинство мелких 0,5—1,0 Средний размер 1,5—2,0; 1 экземпляр—5,5	Овальные, поверхность черного цвета; ядро плотное; на изломе конкреции видна слоистость
03 4902	5187	Красная глина	То же	Много мелких	От 0,5 до 2,0 Несколько экземпляров, до 5	Сферические, сильно бугристые; поверхность шероховатая, черно-коричневого цвета; ядро плотное

* Образцы конкреций с пяти станций (ст. 4793, 4892, 4893, 4900, 5005), встреченные в единичных экземплярах в прямоочной трубке, находятся в коллекции геологического отдела.

Из табл. 1 видно, что форма конкреций была разнообразной. Наряду с правильно сферическими, встречались бугристые, многодольчатые конкреции, составленные как бы путем слияния нескольких шаровидных отдельных частей (рис. 2). Реже попадались плоские, лепешковидные конкреции. Размеры конкреций Индийского океана широко варьируют в диаметре от нескольких миллиметров до 8 см.

При механическом анализе донных илов были обнаружены конкреции в виде мельчайших сферических тел. Анализ производили следующим образом: весь ил, проходящий сквозь сито 0,1 мм, разделяли водой на крупно-алевритовую (0,1—0,05 мм) и мелко-алевритовую (0,05—0,01 мм) фракции. Фракцию меньше 0,01 мм или пелитовую не собирали. Весь остаток на сите составлял фракцию больше 0,1 мм. В иле после разделения его на фракции мы находили микроскопические конкреции,

по своей форме совершенно сходные с крупными конкрециями (рис. 4). Диаметры микроскопических конкреций равны долям миллиметра. Этот факт очень важен с точки зрения генезиса конкреций. Микроскопические конкреции, находящиеся в илах, возможно, представляют собой ранние стадии их бактериогенного формирования.

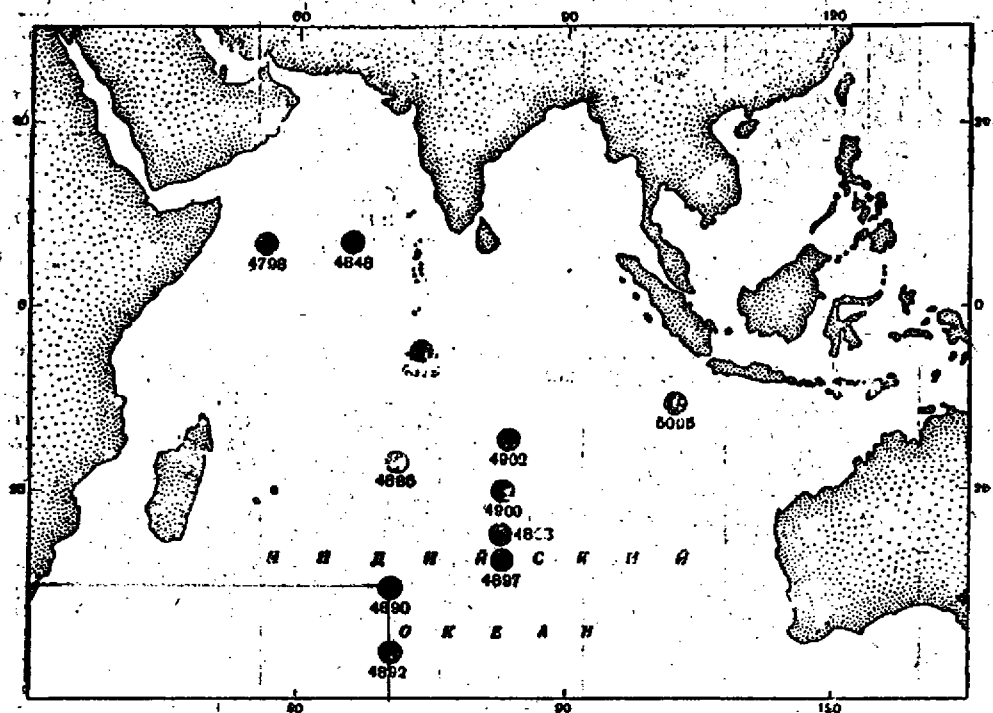


Рис. 1. Карта станций 33-го рейса «Витязя», на которой были обнаружены железо-марганцевые конкреции

Если расположить конкреции, собранные на одной станции, начиная от микроскопических до крупных форм, то получится ряд от шариков с диаметром в десятые доли миллиметра до бугристых конкреций диаметром в несколько сантиметров. Конкреции различаются между собой не только размерами, но, что более важно отметить, строением и плотностью своего тела. Наряду с конкрециями с блестящей темно-марганцевой поверхностью и плотной массой, мы находим губчато-ноздреватые, шероховатые и легко распадающиеся. Под лупой видно, что они состоят из множества мелких конкреций, объединенных в шарообразный комплекс.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОНКРЕЦИЙ И ГРУНТОВ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА

При спектральном анализе конкреций и грунтов Индийского океана в них было обнаружено около 30 элементов. Из табл. 2 видно, что набор элементов, входящих в состав конкреций, больше, чем в грунтах. Такие элементы, как молибден, ниобий, олово, таллий и другие, отсутствуют в грунтах и обнаружены в конкрециях. В конкрециях значительно увеличивается содержание железа, марганца, кобальта, никеля, свинца, ванадия, циркония. Из аналитических данных можно сделать вывод, что конкреции являются аккумуляторами не только железа и марганца, но и ряда редких элементов, таких, как молибден, таллий, ниобий, ванадий, никель, кобальт, цирконий.

Существенную поддержку биогенной точке зрения на формирование конкреций оказывает спектральный анализ микроконкреций, диаметром в среднем около 30 μ , найденных при промывке илов со станции 4902 (рис. 4). Окраска и форма этих микроскопических образований совершенно одинакова с окраской и формой типичных крупных конкреций на этой станции. Округлая форма микроконкреций легко объясняется тем, что бактериальная колония, их формирующая, как правило, имеет сферическую форму и что наслоение бактериальных осадков происходит по поверхности минерального ядра, сформированного бактериями (рис. 5 и 6). Генетическая связь крупных и мелких конкреций подтверждается их химическим анализом, который показал, что такие элементы, как кремний, алюминий, железо, марганец, натрий, кальций, магний, в большом количестве присутствуют в микроконкрециях. Кроме этих элементов, обнаружены следы ванадия, кобальта, хрома, бериллия, цинка, титана, бария и меди. На основании сходства вещественного состава конкреций всех размеров мы считаем, что микроконкреции представляют собой начальную стадию образования конкреций. В процессе микробиологического осадкообразования, происходящего на поверхности микроконкреции, ее размеры увеличиваются.

РАДИОАКТИВНОСТЬ МОРСКИХ ОСАДКОВ

Ввиду того, что в состав конкреций входит ряд редких и рассеянных элементов, интересно было выяснить, обладают ли конкреции и грунты, на которых они были обнаружены, радиоактивностью. Если бы удалось показать, что стяжения, называемые железомарганцовыми конкреция-

Таблица 3
Радиоактивность грунтов и конкреций
Индийского океана

№ станции	Количество распадов в минуту в 100 мг навески		№ станции	Количество распадов в минуту в 100 мг навески	
	грунты	конкреции		грунты	конкреции
4848	29	57	4890	Фон	70
4878	43	71	4897	42	114
4885	Фон	43	4902	Фон	65

ми, обладают повышенной радиоактивностью, мы получили бы дополнительный аргумент в пользу участия бактерий в их образовании, потому что микроорганизмы, как известно, способны аккумулировать радиоактивные, редкие и рассеянные элементы, следы которых находятся в окружающем их растворе.

Для определения радиоактивности грунты высушивали в сушильном шкафу, а конкреции (по две-три с каждой станции) сначала разбивали молотком, а затем растирали в порошок фарфоровым пестиком. Из измельченных конкреций и высушенных грунтов брали две параллельные навески по 100 мг каждая. Навески равномерно распределяли по поверхности мишени и исследовали на счетной установке типа Б-2 с торцовым счетчиком, регистрирующим β -излучения. Результаты пересчитывались на 100%, эффективность счетчика и активность препаратов выражалась в количестве распадов в минуту.

Из табл. 3 видно, что конкреции обладают большей радиоактивностью, чем грунты. Этот факт говорит в пользу бактериогенного происхождения конкреций.

СТРУКТУРА И БАКТЕРИОГЕННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦОВЫХ КОНКРЕЦИИ

При рассматривании под микроскопом прозрачных шлифов конкреций со ст. 4890 видно, что они состоят из марганцовых оолитов, между которыми находятся прослойки гидроокислов железа. На шлифах видны скелеты фораминифер, диатомовых и изредка — прозрачные кристал-



Рис. 2. Черные многодольчатые (верхний ряд) и губчатоздраватые конкреции Индийского океана (уменьшено в 4 раза)

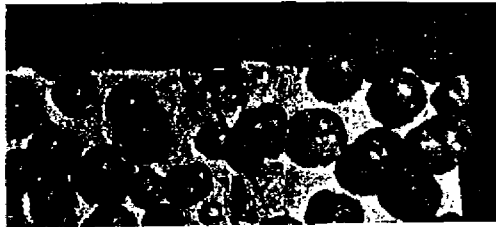


Рис. 3. Расположение и количество железо-марганцевых конкреций на поверхности дночерпательной пробы. 82,3% поверхности дночерпателя «Океан-50» занято конкрециями (ст. 4878)

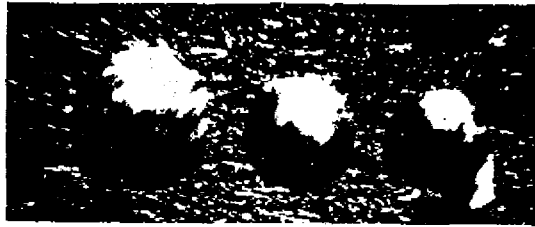


Рис. 4. Конкреции микроскопических размеров, обнаруженные в грунте

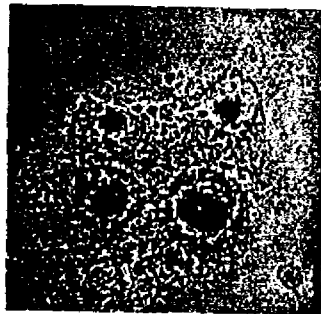


Рис. 5. Экспериментальное образование микроконкреций в проточной морской воде. Плотное ядро первичной микроконкреции окружено кольцом бактерий, наращивающих новые концентрические слои осадков

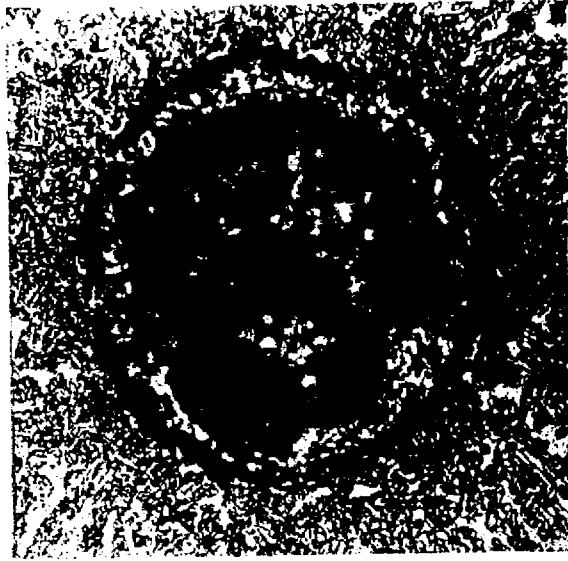


Рис. 6. Микроконкреция, образованная бактериями в экспериментах в проточной морской воде

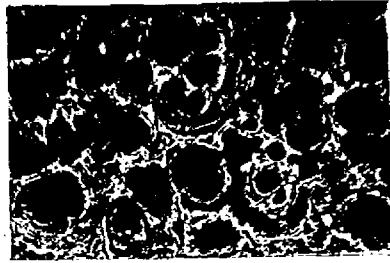


Рис. 7. Полированная поверхность шлифа конкреции со ст. 4878 после травления сернистой кислотой. Видны каркасы марганцевых оолитов и прослойки гидроокислов железа между ними

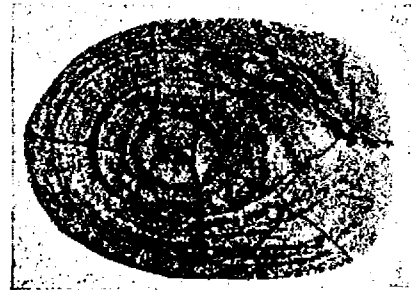


Рис. 8. Поверхность полированного шлифа конкреции со ст. 4878. Ясно видны концентрические слои нарастания конкреции



Рис. 10. Бактериальная зона вокруг рыхлых микроконкреций, помещенных в агар

лы цеолитов различной формы. После травления сернистой кислотой полированной поверхности шлифа конкреции со ст. 4878 гидроокислы марганца растворяются, на рис. 7 видны лишь каркасы марганцевых оолитов. Гидроокислы железа в виде светлых прослоек как бы наслаиваются на марганцевые оолиты.

На рис. 8 изображен полированный шлиф конкреции со ст. 4878. Ясно видны концентрические слои нарастания конкреции. Перфильев [14] считает, что каждый концентрический слой нарастания конкреции равен годовому периоду. Калининко [11] находил в Карельских озерах, богатых железо-марганцевыми конкрециями, колючую проволоку и другие предметы, затонувшие во время войны 1939 г. За 9 лет на них образовались наросты конкреций, средняя толщина которых равнялась 1,5 см. Быстрый рост конкреций в пресных водах помогает нам понять, почему на океаническом дне конкреции крупных размеров лежат на поверхности осадков. Ил, погребаящий их в своей толще, наслаивается значительно медленнее, чем растут конкреции. Судя по концентрическим слоям конкреции, изображенной на рис. 8, достигающей 3,5 см в диаметре, возраст ее равен приблизительно 20 годам. На этом основании при промышленной эксплуатации залежей конкреций можно применить разбивку площади на районы ежегодной выборки рудных стяжений. Через 30—40 лет силами бактерий, обитающих в донных осадках, произойдет восстановление конкреций на обработанной зоне морского дна.

Роль бактерий в образовании различных руд изучалась почти с момента зарождения микробиологии как науки. Бактериогенное осаждение железа и карбоната кальция было предметом исследований Надсона [13], Исаченко [7, 8], Буткевича [1], Холодного [19], Вологодина [4], Калининко [9, 12], Молиша (Molish) [25], Дрю (Drew) [21].

Общую концепцию биогеохимической деятельности живых существ создал Вернадский [2, 3]. По его мнению, организмы, обитающие на суше и в гидросфере, аккумулируют различные вещества и определяют их миграцию в земной коре.

Бактериогенной гипотезе о формировании железо-марганцевых конкреций можно противопоставить идеи ряда авторов [24, 22, 15], считающих, что причиной образования конкреций являются биохимические и диагенетические превращения железа и марганца. Мы согласны с литологами [18], считающими, что соединения железа и марганца приносят терригенный сток, и распределяются они в поверхностном слое осадков под действием гидродинамических факторов. Но для формирования стяжений должны существовать факторы, обладающие способностью аккумулировать коллоидные, аморфные и кристаллические частицы различных элементов в правильные тела.

В генезисе конкреций идеи противников биогеохимической теории неясны. Если исключить концентрирующую работу бактерий, то не будет известно, какие причины вызывают компактное геометрически правильное построение конкреций, имеющих концентрическую слоистость. Без участия организмов, обладающих, по Вернадскому, аккумулирующей способностью, не может собраться воедино тело конкреции, имеющей более высокую концентрацию разнообразных элементов, чем подстилающие осадки. Вернадский указывал на скелеты фораминифер и диатомей как на типичный пример аккумулирующей деятельности организмов, строящих свои опорные и защитные образования из элементов, содержащихся в ничтожных концентрациях в окружающей морской воде.

В морских грунтах микроорганизмы находят условия для образования железо-марганцевых конкреций. Минерализуя биологические осадки, бактерии образуют в илах сероводород, углекислоту, аммиак и органические кислоты. Эти вещества, меняя физико-химический режим в микронеоне бактериальной колонии, седиментируют железо, марганец,

кальций и другие вещества. Микроагглютинаты склеиваются образующей бактериями слизью.

Микроскопия грунтов Индийского океана показывает, что донный ил содержит множество микролитов и других стяжений правильной формы (рис. 9). Наличие окисного железа в верхнем горизонте морских осадков в виде свободных коллоидных хлопьев, а также в составе боилитов, доказывается путем микрохимических реакций.

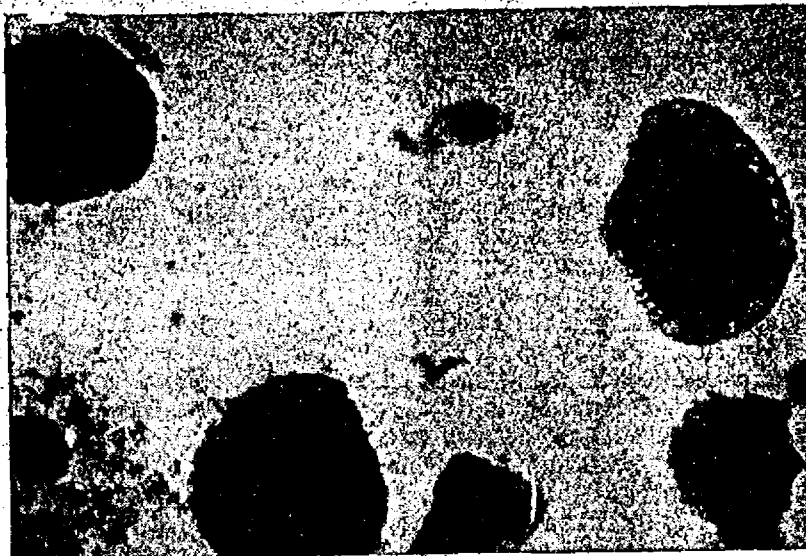


Рис. 9. Глицериновый препарат грунта Индийского океана под микроскопом. Видны шарообразные рыхлые микроконкреции

Микрохимические реакции были проделаны со всеми грунтами, собранными на станциях, на которых были найдены железо-марганцевые конкреции. После просасывания 5% HCl под покровным стеклом почти на всех препаратах наблюдалось бурное выделение пузырьков CO_2 , указывающее на большое количество карбонатов в грунтах. 4%-ным раствором желтой кровяной соли частицы грунта избирательно окрашивались в сине-зеленый цвет. Особенно яркая окраска наблюдалась у грунтов со станций 4878, 4902, 4897, 4885, в которых под микроскопом было обнаружено множество рыхлых и более плотных микроконкреций. Те комочки ила, в которых под микроскопом до микрохимических проб наблюдались плотные буро-красные частицы окиси железа, также принимали окраску, характерную для данной реакции. Эти микрохимические пробы показывают присутствие в илах рассеянного коллоидного железа, которое стягивается большей частью в сферические образования. Силой, собирающей и склеивающей коллоидные хлопья в сферические тела, являются микроорганизмы, что видно из бактериологических анализов свежих грунтов, которые проводились таким образом: несколько миллиграммов ила вносят платиновой петлей в каплю стерильной воды, находящуюся в центре чашки Петри. Легким встряхиванием грунт в капле размывается в суспензию. Затем из пробирок прямо на каплю выливают остуженный до 42° после стерилизации 1,5% агар следующего состава: пептон семилатинский — 5,0 г; FePO_4 — 0,1 г; KNO_3 — 0,25 г; агар-агар — 15,0 г; морская вода — 1000,0 г. Суспензия распределяется по всей чашке. Частицы грунта закрепляются агаровым студнем на разных расстояниях одна от другой. Чашки с этими посевами ставят в термостат при температуре $25-27^\circ$.

Через несколько суток под бинокулярной лупой или под микроскопом мы ищем бактериальные колонии и определяем их связь с органическими и минеральными обломками. Под микроскопом видно, что многие илстые частицы, фиксированные питательным агаром, обросли колониями бактерий (рис. 10). Интересно, что наиболее заселены бактериями коллоидные сгустки железа. Еще более выразительно этот процесс наблюдается вокруг микроконкреций. На пятый день опыта ореол бактерий вокруг микроконкреций очень сильно уплотняется. Бактериальные колонии образуются также в неровностях минеральных обломков. На прозрачных кусочках вулканического стекла видны плотные бактериальные колонии, вокруг которых накапливается мельчайший детрит. Нередко видно, как частицы кварца склеиваются коллоидным железом с частицами полевого шпата. В прозрачном слое агара под микроскопом видно, что скелеты фораминифер и других простейших животных тоже обрастают бактериями. Все описанные моменты приводят к одному результату — к гранулированию илов, к образованию минеральных зерен и микроолитов.

Участие бактерий в создании этих структур можно видеть в следующих экспериментальных условиях. Если в морскую воду опустить предметные стекла и создать спокойные проточные условия, на стеклах через 10—15 дней можно видеть бактериальные колонии, играющие роль первичных фокусов минеральных стяжений. Еще лучше фокусирующая деятельность видна на чистых культурах морских бактерий. Опыты этого рода ставят следующим образом: морская вода стерилизуется в колбах разной емкости от 100 до 500 мл. В морской воде несколько повышаем концентрацию азота, фосфора, углерода, чтобы компенсировать питательные компоненты, поглощенные бактериями из несменяемой в колбах воды. Без внесения питательных веществ в морскую воду до стерилизации бактерии не могут развиваться в таком количестве, чтобы построить в лабораторных условиях конкреции. Состав питательной среды следующий: морская вода—900 мл; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ —5 г; $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ —5 г; K_2HPO_4 —0,1 г; аммиачное лимоннокислое железо—1 г. Аммиачное лимоннокислое железо растворялось в 100 мл морской воды и нейтрализовалось 4%-ным раствором едкого натра. Затем отдельно стерилизованные растворы питательных солей в 900 мл морской воды и лимоннокислого железа в 100 мл морской воды сливали вместе.

Итоги опытов на морской воде с железом показали, что седиментировать железо могут многочисленные виды бактерий морского дна. Одни виды морских бактерий образуют студенистые осадки и коллоидальные бесструктурные пленки. Другие бактерии образуют гранулированную форму железистых осадков, а именно зерна—оолиты. Эти сферические образования видны невооруженным глазом. Бактериогенные оолиты легко объединяются друг с другом в крупные рыхлые шары или лепешки, подобно тому, что мы видели в грунтах Индийского океана, где черные марганцевые конкреции склеены из множества мелких. Такие образования на шлифах представляются в виде концентрически слоистых конкреций.

Структурообразующая деятельность бактериальной колонии начинается с пропитывания ее самой железом. Затем колония собирает на своей поверхности коллоидные осадки железа и склеивает их своей слизью в рыхлые комки. Эксперименты в проточной морской воде показывают, что колонии бактерий в течение 30—40 дней образуют сферическое или плоское тело, аккумулирующее на себя магний, кальций, железо и марганец. На рис. 5 и 6 видно, что бактерии кольцом окружают минеральное, ими созданное ядро и производят концентрическое наслаивание компонентов, осаждавая из морской воды и илов карбонаты марганца и железа. Таким образом создаются слои, указывающие на непрерывную деятельность бактерий на поверхности формируемого ими стяжения. В илах эта аккумулирующая деятельность бактериальной колонии уси-

ливается прилипанием коллоидных частиц пелитовой части красной глины.

Роль бактерий в формировании стяжений в экспериментальных условиях обнаруживается следующим образом: предметное стекло, на котором бактерии создали фокусы стяжений (рис. 6), мы погружаем в

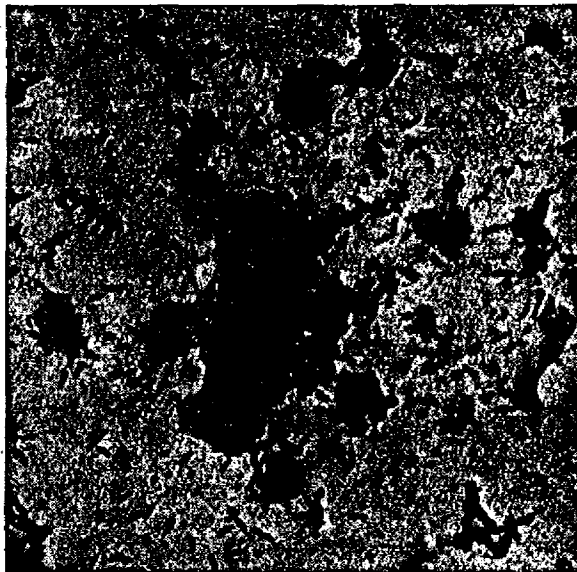


Рис. 11. Бактериальные колонии, обнаруживающиеся после декальцинирования HCl экспериментальных микроконкреций, изображенных на рис. 5 и 6

слабый раствор HCl . После растворения карбонатов и железа препарат, слегка промытый дистиллированной водой, погружается в 0,1% раствор водного метилвиолета. Через 5 минут препарат промывают водой и высушивают. На тех местах, где были стяжения железа, марганца, кальция, мы увидим бактериальную колонию, которая является живым фокусирующим центром для этих стяжений (рис. 11).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования в Индийском океане показали, что в коричневых, глинистых и известковых фораминиферовых илах зарождаются и растут конкреции микроскопических размеров. На этой стадии конкреции, имеющие форму шариков, повторяют конфигурацию микробной колонии. Макроконкреции, как правило, имеют сферическую форму, напоминающую гигантскую колонию. Число конкреций на отдельных станциях Индийского океана огромно.

Геохимическая работа бактериальных колоний, сидящих на отмерших планктонных организмах и на минеральных обломках, состоит в седиментации коллоидного железа, марганца и других элементов. Бактерии гранулируют полужидкие илы Индийского океана и образуют налеты на скелетных остатках планктонных и донных животных. Зерна ила, образованные бактериями, склеиваются хлопьями коллоидов и слизью бактерий в оолиты и рыхлые конкреции. Дальнейший рост конкреций происходит или путем наружного нарастания новых бактериогенных седиментов, или посредством слияния и цементирования мел-

ких стяжений. Бактерии концентрическими кругами обрастают мелко-раздробленные минералы и образуют таким путем кольца отложений железа, марганца и других редких и радиоактивных элементов на этих обломках.

В заключение мы выражаем глубокую благодарность П. Ф. Андрущенко и Ю. И. Беляеву за существенную помощь в анализе химического состава и структуры конкреций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буткевич В. С. 1928. Образование морских железо-марганцевых отложений и участвующие в нем микроорганизмы, Тр. Моск. н.-и. ин-та, 3, вып. 3.
2. Вернадский В. И. 1923. Живое вещество и химия моря, Н. Т. отд. ВСНХ.
3. Вернадский В. И. 1927. Очерки геохимии.
4. Вологдин А. Г. 1947. Геологическая деятельность микроорганизмов, Изв. АН СССР, Сер. геол., № 3.
5. Еремеев П. В. 1897. О стяжениях бурого железняка лимонита, Изд. АН СПб., 7, 19.
6. Зернов С. А. 1913. К вопросу об изучении жизни Черного моря, Зап. Импер. АН 32, № 1.
7. Исаченко Б. Л. 1937. Микробиологическая картина грунтов и воды Карского моря, Тр. Аркт. н.-и. ин-та, 82.
8. Исаченко Б. Л. 1948. О биогенном образовании карбоната кальция, Микробиология, 17.
9. Калинин В. О. 1946. Роль бактерий в формировании железо-марганцевых конкреций, Микробиология, 15, № 5.
10. Калинин В. О. 1949. Бактериогенное осаждение кальция в море, Тр. Ин-та океанол., 3.
11. Калинин В. О. 1949. Происхождение железо-марганцевых конкреций, Микробиология, 18, вып. 6.
12. Калинин В. О. 1952. Геохимическая роль бактериальной колонии, Изв. АН СССР, Сер. геол., вып. 1.
13. Надсон Г. А. 1903. Организмы как геологические деятели (из работ по изучению минералов озер у Славянска).
14. Перфильев Б. В. 1926. Новые данные о роли микроорганизмов в рудообразовании, Изв. геол. комит., 45, № 7.
15. Страхов Н. М. 1948. Об истинной роли бактерий в образовании карбонатных пород, Изв. АН СССР, Сер. геол., № 3.
16. Самойлов Я. В., Титов А. Г. 1917—18. Железо-марганцевые желваки со дна Черного, Балтийского и Баренцева морей, Тр. Геол. и Минерал. музея Рос. АН, вып. 2, 3.
17. Скорнякова Н. С. 1960. Марганцевые конкреции в осадках сев.-вост. части Тихого океана, Докл. АН СССР, 130, № 3.
18. Скорнякова Н. С. 1961. Океанологические исследования «Витязя» в северной части Тихого океана по программе международного геофизического года, Тр. Ин-та океанол., VLX.
19. Холодный Н. Г. 1953. Железобактерии, Изд. АН СССР.
20. Dietz R. S. 1955. Manganese deposits on the northeast Pacific sea floor, Calif., J. Mines and Geol., 51, 3, 209—220.
21. Drew G. H. 1914. On the precipitation of calcium carbonate in the sea by marine bacteria and on the action of denitrifying bacteria in tropical and temperate seas. Pap. from the Portugas lab. Carnegie Inst., Wash., 5, 9—45.
22. Fermor L. L. 1909. The manganese ore deposits of India, Mem. Geol. Surv. of India, 37.
23. Menard H. W., Shippek C. J. 1958. Surface concentrations of manganese nodules, Nature, 182, 1156.
24. Murray J., Renard A. F. 1891. Deep sea deposits, H. M. S. Challenger Scientific Res., London.
25. Molish H. 1910. Die Eisenbakterien.
26. Nordenskiöld A. E. 1880. Végas ford kring Asien och Europa, Stockholm.

Поступила в редакцию
13.III.1962