

О ПРИРОДЕ ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ

А.Н.Калягин*, П.Я.Тищенко*, А.Ю.Гуков*, Т.И.Волкова*, Л.Н.Куриленко**,
Р.В.Чичкин*

*Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

**Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток

По структурно-текстурным и внешним признакам установлено пять групп железо-марганцевых образований на юго-восточном шельфе моря Лаптевых: 1 – трубо- и веретенообразные псевдоморфозы по беспозвоночным; 2 – ядерные и безъядерные конкреции; 3 – жгуто- и трубоподобные каркасы полихет; 4 – плоские и уплощенные корковидные конкреции и корки; 5 – микроконкреции. Все железо-марганцевые образования по степени концентрации, соотношению и суммарному количеству железа и марганца выделены в три основных генетических ряда: собственно железистые образования автохтонной природы (полихеты, гетитовые микроконкреции) и аллохтонной природы (ядерные конкреции); железо-марганцевые конкреции, сформированные в условиях спокойного гидрогеодинамического режима на границе геохимического барьера донный осадок – вода; железо-марганцевые образования, возникшие в условиях меняющейся физико-химической среды. Несмотря на разнообразие обнаруженных морфогенетических типов ЖМО, все они указывают на близкую связь с биологической деятельностью. Отличительной чертой условий образования железо-марганцевой минерализации на шельфе моря Лаптевых является окислительно-восстановительный барьер: обогащенный кислородом слой воды – восстановленные донные осадки. Этот барьер создает благоприятные условия для бактериального пути железо-марганцевой минерализации.

Ключевые слова: железо-марганцевые образования, генезис, химический состав, море Лаптевых.

ВВЕДЕНИЕ

Впервые железо-марганцевые образования (ЖМО) на шельфе моря Лаптевых были обнаружены П.К. Хмызниковым в виде трубок полихет в 1929 г. во время Арктической экспедиции. В дальнейшем они изучались разными исследователями [4–6, 9,10]. В [4] все конкреции были отнесены к железистому ряду с резким преобладанием окиси железа во внешних слоях по отношению к закисным формам в ядре. На этом основании был сделан вывод о резкой смене окислительно-восстановительной обстановки и интенсивном перераспределении аутигенного вещества в горизонтальном направлении в период образования конкреций. Выделяется три морфотипа конкреций [10, 13]: трубообразные, генетически связанные с полихетами; сформированные по моллюскам *Tridonta borealis*; плоские конкреции с ядрами галек. Первые два типа имеют локальное распространение и пространственное совмещение по латерали в районе 75° с.ш., 130° в.д. Они отделены от регионально распространенного третьего типа, приуроченного к зоне смещения речных и морских вод и располагающегося в виде субширотного пояса в глубоководной части шельфа [13].

Осенью 1997 года на борту ГС “Дунай” была проведена гидрохимическая экспедиция в юго-вос-

точной части моря Лаптевых (рис.1). Одной из целей экспедиции было изучение закономерностей распределения и условий образования железо-марганцевой минерализации на Лаптево-Чукотском шельфе [8, 11]. По результатам экспедиции исследованы четыре типа ЖМО. Они разделены на два генетических ряда: собственно железистые и железо-марганцевые. Как для первых, так и для вторых возможны различные, в том числе и микробиологический, пути образования. На мелководных участках (бухта Тикси, губа Буор-Хая) и юго-западнее о. Котельный, на склоне шельфа, пробоотбор был продолжен в составе Российско-Германской экспедиции (1998 г.) на судне “Polarstern”. В результате этих работ установлены новые типы ЖМО, описание которых является предметом данного сообщения.

МЕТОДЫ

Аншлифы всех железо-марганцевых образцов изучены в отраженном свете с использованием микроскопа и бинокулярной лупы. С учетом структурно-текстурных свойств образований произведено селективное опробование на химический и минералогический анализы и степень окисленности марганца в твердой фазе.

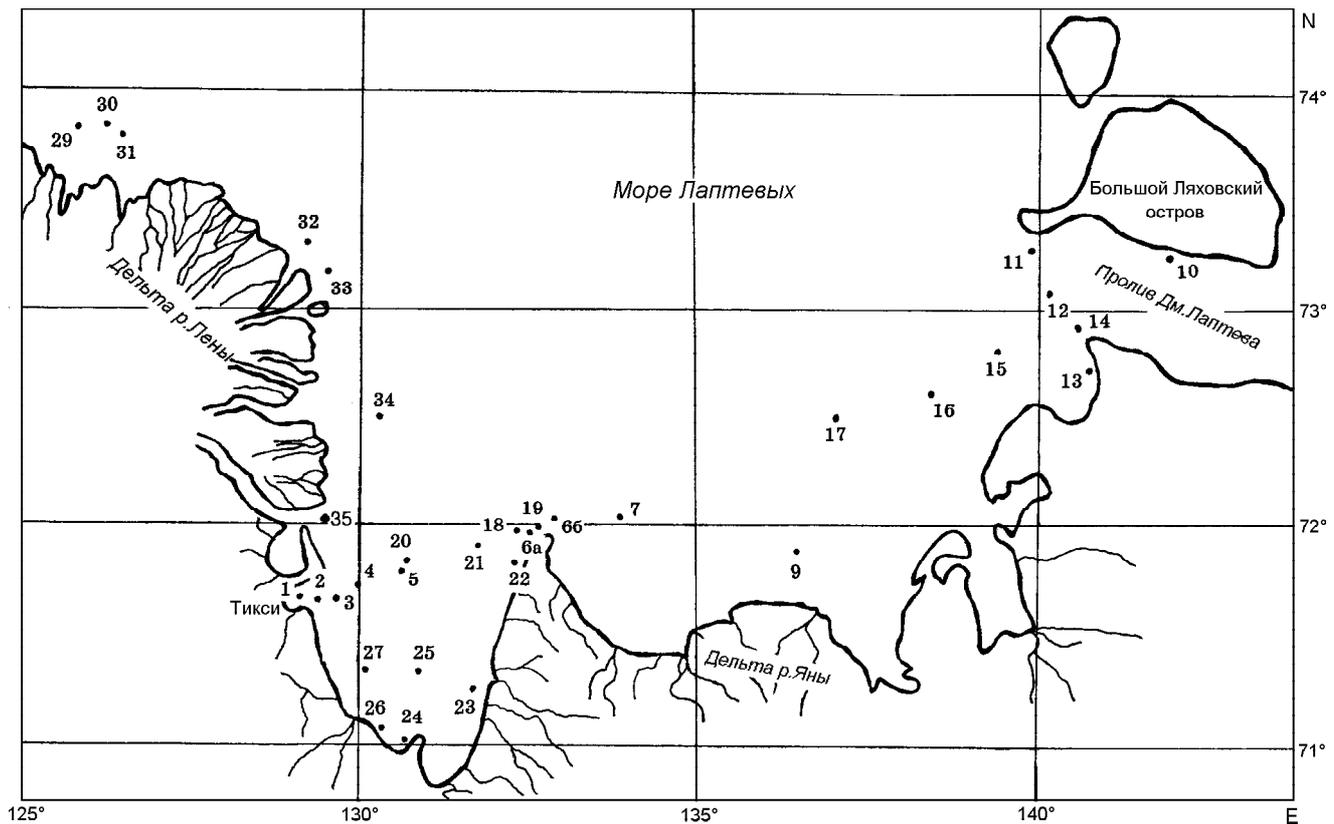


Рис.1. Обзорная карта района работ с комплексными станциями пробоотбора и их номерами.

Для выполнения химического анализа образцы тщательно растирали в агатовой ступке. Взятые навески высушивали до постоянного веса при 105°C, затем сплавляли с тетраборатом лития при 1000°C. Выщелачивали горячей водой с добавлением соляной кислоты и в полученном растворе измеряли концентрации элементов.

Содержание Ni, Co, Fe, Ag, Cu, Cr определялось в пламени ацетилен-воздух методом атомно-абсорбционного анализа на спектрофотометре GGX-6A с корректором Зеемана. Анализ Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K выполнен на пламенно-эмиссионном спектрометре Nippon Jarrell ASH AA-780 в пламени ацетилен-воздух, Al, Si – в пламени ацетилен-закись азота.

Стандартные растворы готовились с учетом фоновое содержания макроэлементов в пробах. Чувствительность определения для Fe, Ni, Co, Ag, Cr – 0.005–0.02 мкг/мл, для Si, Al – 0.5–1.0 мкг/мл.

Степень окисленности марганца определяли методом потенциометрического титрования [12]. В качестве измерительных электродов использовались платиновый и хлорсеребряный (ЭВЛ-1М3).

Рентгенофазовый анализ проб выполнен на дифрактометре “Дрон-2” в Си-излучении с графитовым монохроматором.

СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, МОРФОЛОГИЯ

По структурно-текстурным и внешним признакам ЖМО разделены на пять групп.

Первая группа объединяет наиболее крупные по размерам и хорошо сохранившиеся псевдоморфозы по беспозвоночным или их фрагментам, обнаруженные к юго-западу от о. Котельный. Группа представлена тремя морфологическими видами.

Первый вид (рис.2, обр.1) имеет трубообразную, слегка коническую у флангов форму длиной до 40 мм. Наружный диаметр – около 14 мм, толщина стенки – 3.5–4.5 мм. Образован пелитоморфным агрегатом бурого цвета и массивного сложения. Покрыт тонкой пленкой черного цвета. Внешняя зона трубы кавернозно-шероховатая, внутренняя – ровная и более гладкая.

Второй вид (рис.2, обр.5) представлен хорошо сохранившимся веретенообразным беспозвоночным, нацело замещенным пелитоморфной массой железомарганцевых минералов. Длина экземпляра достигает 10 см при максимальном внешнем диаметре 30–35 мм и толщине стенки 7–8 мм. Внутренняя часть пустотелая, слегка заполнена серым слюдястым (сери-



Рис.2. Структурно-текстурные особенности и морфотипы первой группы железо-марганцевых образований шельфа моря Лаптевых.

В верхней части образца 4 отчетливо видны остатки хитина и многочисленные бобовины округлой формы. В нижней части образца 5 сохранился фрагмент срастания с морфотипом, подобным основному. Стрелкой отмечены Fe-Mn псевдоморфозы (округлые, конусовидные), сформированные во внутренних полостях хитина. Увеличение $\times 1.2$.

цит) илом с мельчайшими оскольчатыми зернами кварца. Внешняя поверхность содержит примазки ила и элементы срастания с подобным образованием. Железо-марганцевая минерализация имеет зонально-концентрическое строение с извилистыми контактами и признаками некогда существовавшей скорлуповатой отдельности. В аншлифах хорошо различимы массивные и рыхловатые (до пористых) зоны. Для последних характерен более темный цвет, переходящий на участках внешней каймы в зоны черного цвета.

Наиболее хорошо выражена центральная зона. Она занимает большую часть псевдоморфозы, имеет темно-коричневый цвет с наложенными темными, почти черными “бликами” по основному фону. Блики имеют расплывчатые контакты и постепенные взаимопереходы как между собой, так и с основной афанитовой массой. В основной массе отмечаются незначительные по размерам (0.3–2 мм и в редких случаях – до 8 мм в поперечном сечении) каверны с землистым ржаво-бурым лимонитом или серым илом. Мощность зоны изменяется от 1 до 8 мм.

Внутренняя и внешняя зоны более пористые, с неровными и шероховатыми поверхностями. Отличительной особенностью внешней зоны является наличие на ее поверхности бобовидных, иногда конусообразных образований, сложенных сажистым рыхлым минералом. Размер “бобовин” у основания достигает 2–4 мм по диаметру при высоте 1.5–2.5 мм. Внутренняя поверхность не имеет “бобовин” и покрыта пленкой лимонита.

Облик образований *третьего вида* (рис. 2, обр. 4) напоминает фрагмент древесной коры хвойных, и по этому признаку они могут быть отнесены к коркам. Поперечное сечение имеет форму четко выраженной полусферы. Как выпуклая, так и вогнутая поверхности неровные, занозистые, шероховатые. На них хорошо развиты “бобовины” от десятых долей миллиметра до 7 мм в поперечнике и до 3–4 мм по высоте. Внутреннее сложение “бобовин” скорлуповатое, иногда близкое к сфероидальному. Более массивные экземпляры находятся в центральной части корки. Основная масса “бобовин” образует тесные сращения. Промежутки между ними заполнены землистым лимонитом или являются пустотами размером 1–2 мм, напоминающими вулканические кратеры. Возможно это результат разрушения колоний простейших организмов. На обеих поверхностях сохранились реликты и хорошо различимые контуры хитина (рис. 2, обр. 4). Некоторые из них имеют совершенные округлые формы конусного типа. В центральной, наиболее выпуклой части конусов всегда присутствуют отверстия диаметром 0.3–0.5 мм, а вдоль внешней стороны, по периметру основания сферы, где крепится хитин, наблюдается венчиковидное углубление размером 1–1.5 мм. Внутренняя зона хитинового покрова выполнена темным, почти черным землистым минералом, по-

вторяющим форму хитина. Мы полагаем, что псевдоморфоза по беспозвоночному и есть конусовидная “бобовина”, характерная для второго вида.

Внутренняя зона корки имеет строение, аналогичное образованиям второго вида. Различия состоят в том, что в поперечном сечении видно строго полусферическое очертание и смыкание зон на флангах внешней (выпуклой) и внутренней (вогнутой) поверхностей, опоясывающих ядро корки. Ядро в поперечном сечении имеет эллипсоидальную форму с соотношением осей 40:3.

Во *вторую группу* объединены ЖМО бухты Тикси и губы Буор-Хая. Представлены они конкрециями с хорошо выраженной скорлуповато-концентрической отдельностью железо-марганцевых зон (Рис. 3, центральная часть). По структурно-текстурным признакам во второй группе выделены два вида конкреций: ядерные и безъядерные.

Ядерные конкреции имеют удлиненную, плоско-вогнутую или плоско-выпуклую форму. Ядра в основной массе состоят из мелкозернистых окварцованных плотных песчаников. Реже это песчанистые, ороговикованные алевролиты. На ядрах сохранились только фрагменты зонального строения скорлуповатой отдельности. По периферии конкреции часто наблюдается венчик из тонкой зоны или пленки лимонита. Однако в основной массе они подвержены интенсивному механическому разрушению и могут быть отнесены к аллохтонным образованиям. По-видимому, близка к ним по природе и многочисленная, хорошо окатанная галька, покрытая лимонитовой пленкой.

Безъядерные конкреции наиболее широко распространены, для них характерны округлые, выпуклые, плоско-выпуклые или вогнуто-выпуклые формы. Такое сочетание морфотипов, на наш взгляд, обеспе-



Рис. 3. Внешний облик железо-марганцевых образований шельфа моря Лаптевых.

Каркасы трубок полихет (левая часть), различные типы конкреций второй группы (центральная часть) и плоские, коркообразные конкреции четвертой группы (правая часть снимка). Уменьшение $\times 1.2$.

чивается гидрогеодинамическими условиями роста конкреций.

Для выпуклых форм (рис. 4, обр. 7_{1,2}) характерен четко выраженный шов, ориентированный, как правило, в двух и более плоскостях, пересекающихся под острым углом. Шов в виде кольца опоясывает конкрецию несколько выше уровня ее заглубления в субстрате. Наличие двух и более колец в одном экземпляре предположительно объясняется изменением ее положения в осадке при перемещениях субстрата. Это предположение подтверждается прерывистым характером текстурных особенностей и состава концентрических зон. На рис. 4, 5 (обр. 6, 6₁) хорошо видно полойно-линзовое чередование железо-марганцевой минерализации с существенно железистыми микрозонами.

Плоско-выпуклые, плоско-вогнутые и вогнуто-выпуклые конкреции распространены довольно широко. Обычное удлинение таких конкреций составляет 2:1 при размерах до 15–30 мм по удлинению и до 13 мм по высоте. Для данного морфотипа примечательно концентрически-зональное строение и наращивание более мощных зон по направлению к почве и флангам. При этом мощность в кровле остается минимальной на протяжении всей жизни конкреции. Благодаря таким свойствам эллипсоидальная зона по мере роста обрастает зонами блюдцеобразной формы (рис. 6), искажающими их первоначальный ядерный облик.

Общим для безъядерных конкреций остается скорлуповатое сложение с толщиной зон до 0.1–0.2 мм. Каждая отдельная скорлупа (зона) также имеет микрослоистое строение, различимое в аншлифах при большом увеличении. Оба вида конкреций отличаются как друг от друга, так и внутри каждого вида по степени сохранности. Для конкреций обоих видов, отобранных в губе Буор-Хая, наблюдается разрушение зон. Однако сквозное разрушение присуще только ядерному виду. Безъядерные конкреции бухты Тикси (более рыхлые и менее прочные) не несут признаков механического разрушения, в то время как ядерные разрушены аналогично конкрециям губы Буор-Хая. Примечательно и то, что глубина отбора в бухте Тикси меньше (6 м) в сравнении с Буор-Хая (13 м).

Третья группа представлена довольно широко распространенными каркасами трубок полихет (рис. 3, левая часть). Общая их характеристика дана в [8]. Среди новых образцов преобладают более крупные формы и отдельные фрагменты. Их особенностью является незначительная минерализация каркаса, благодаря чему они, как и осадок, сохраняют серый цвет. По сравнению с описанными ранее они имеют спиралеобразный внешний вид с хорошо выраженным сетчатым или округло-сетчатым рисунком на внешней стороне каркаса. Возможно, это псевдоморфоза по микроколониам простейших (рис. 5, обр. 3).

В четвертую группу объединены образцы с хорошо выраженными ядрами (рис. 3, правая часть). В

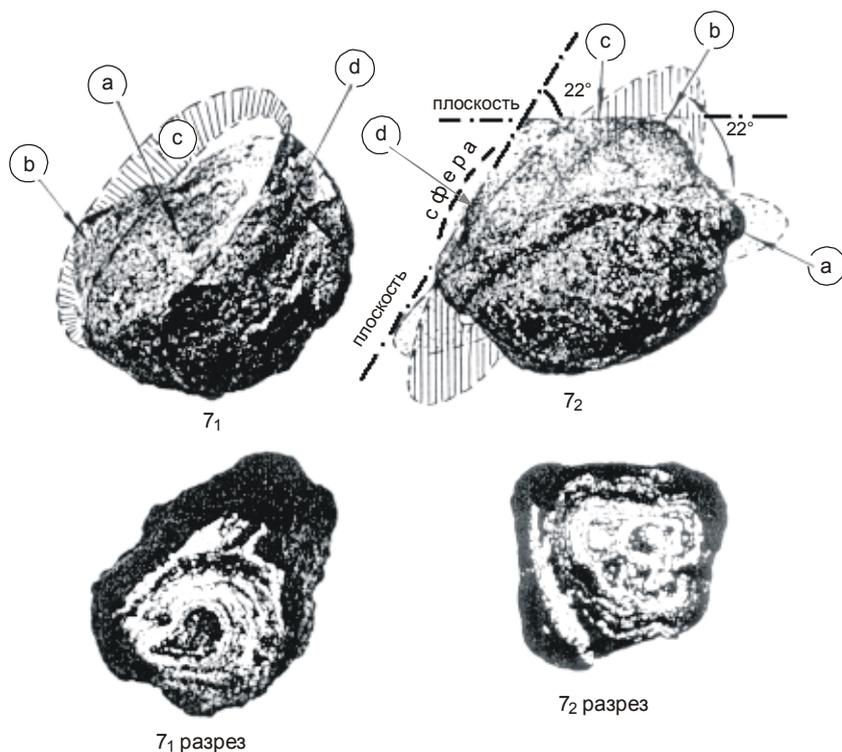


Рис. 4. Железо-марганцевые конкреции безъядерные, сформированные в условиях спокойного (7₁) и интенсивного (7₂) гидрогеодинамического режима донных осадков шельфа моря Лаптевых.

В образце 7₁ видна плоская кровля (а), реликт (б), предполагаемый (заштриховано) разрушенный венчик (с) и боковая поверхность (д). В образце 7₂ резко выражена поздняя сutura шва (а) и отчетливо наблюдаемая, вновь формирующаяся плоская кровля (с). Хорошо сохранился след от ранней сутуры шва (б) и реликт от ранней плоской кровли (д), преобразованной в слегка выпуклую боковую поверхность на поздней стадии минерализации. Вновь образованная и палеоперхность кровли и шовные плоскости пересекаются под равновеликими углами в 22°. На соответствующих разрезах наблюдаются простые (7₁) и сложные (7₂) зональные рисунки. Увеличение ×2.

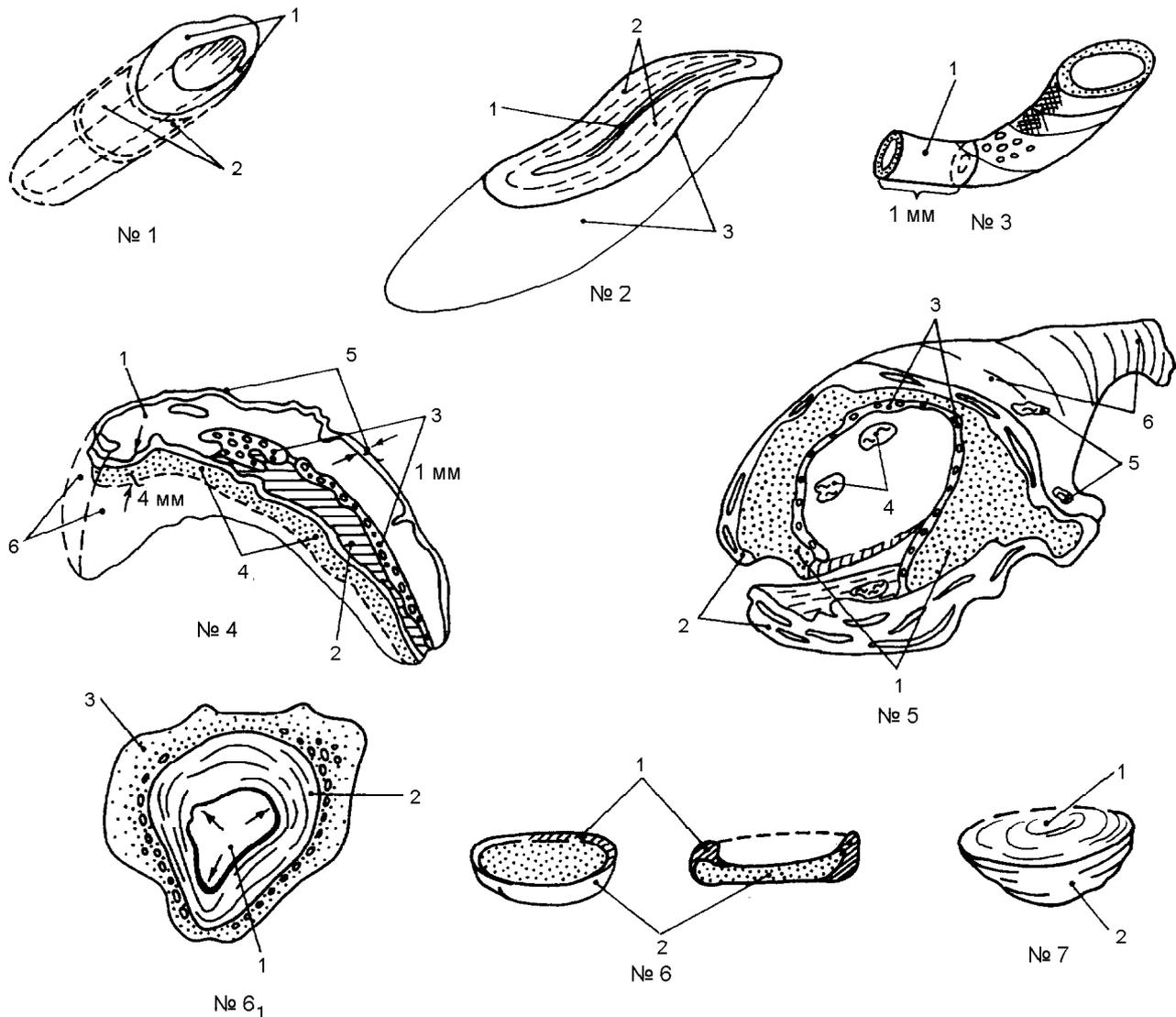


Рис. 5. Скульптурная схема опробования различных типов железо-марганцевых образований на Лаптево-морском шельфе. № 1 и т.д. – и номера образцов, 1 и т.д. – номера проб в каждом образце.

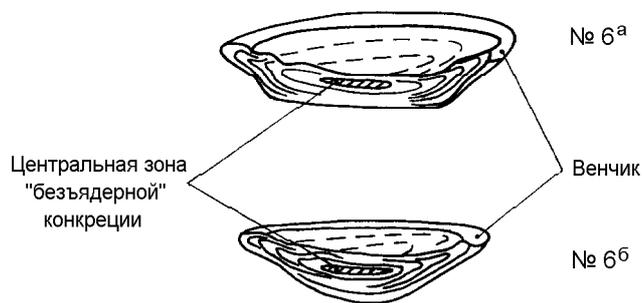


Рис. 6. Преобразование безъядерных плоских эллипсоидальных конкреций в вогнуто-плоский (блюдцеобразный – 6^а) и вогнуто-выпуклый (чашеобразный – 6^б) морфотип. Отчетливо видно увеличение мощности зон по периферии флангов с образованием утолщенного венчика.

абсолютном большинстве случаев ядра представлены плоскими обломками аргиллитов. Обычно это тонкие (2–2.5 мм) и более толстые (до 12 мм) лимонитовые корки от плотных до землистых разновидностей. Цвет их ржаво-бурый, буро-коричневый. В отдельных корках сохранились следы жизнедеятельности илоедов, включения зерен кварца и трещины усыхания с характерными скорлуповатыми поверхностями. Наиболее представительным типом этого ряда, по-видимому, может служить плоская эллипсоидная конкреция (рис. 5, обр. 2). Внутренняя ее часть (ядро) представлена тонкой изогнутой пластинкой лимонитизированного аргиллита микрослоистого строения. Внеядерная зона конкреции достаточно однородна, имеет едва различимое концентрически-зональное строение. Она сложена землистым, пелитоморфным агрегатом коричневато-бурого цвета. Внешняя поверхность по-

крыта хорошо различимым слоем (коркой) бурого землистого лимонита толщиной до 0.1 мм. При беглом осмотре этот вид по внешним признакам можно спутать с третьим видом первой группы.

Пятая группа образцов представлена гетитовыми микроконкрециями размером от 0.5 до 2 мм (рис.7). Форма их округлая, эллипсоидальная и уплощенная, характерны сростания различных морфотипов. Поверхность всегда матовая. На отдельных трещиноватых образцах отмечаются высокоотражающие поверхности с металлическим оттенком. Более полная характеристика таких микроконкреций дана в [8].

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Химическому анализу были подвергнуты все типы железо-марганцевых образований. Из таблицы и схемы опробования (рис. 5) видно, что два элемента (железо и марганец) являются главными для всех минерализованных образцов. По степени их концентрации, соотношению и суммарному количеству четко выделяются три основных ряда: собственно железистые образования (железистый ряд), железо-марганцевые конкреции (марганцовистый ряд) и железо-марганцевые образования с изменяющимся содержанием железа и марганца по концентратам, более сложным радиальным или другим зонам.

Железистый ряд минерализованных образцов является наиболее многочисленным и широко рас-

пространственным. Он встречается в группах 2, 3, 4, 5, представлен конкрециями, микроконкрециями и трубками полихет. Последние (рис. 5, обр. 3, проба 3-1) наиболее слабо минерализованы в сравнении с конкрециями второй группы (таблица, пробы 2-1, 2-2; 6-1, 6-2; рис. 5, №2, 6). Для микроконкреций этого ряда (таблица, проба 2) и тонких лимонитовых корок (таблица, проба 1), опоясывающих слабо окатанные (лепешковидные) обломки алевролитов и тонкозернистых песчаников, отобранных на станции 24, установлены предельно низкие содержания марганца. В свою очередь, конкреции второй и четвертой групп отличаются между собой как по железо-марганцевому модулю, так и по суммарному содержанию Fe и Mn. Интенсивно “перемытые” ядерные конкреции характеризуются наибольшим содержанием железа ($Fe_2O_3 - 47.3\%$) и максимальной величиной железо-марганцевого модуля (около 20). Для безъядерных, хорошо сохранившихся плоских конкреций величина модуля и количество железа снижаются. При этом хорошо видно заметное повышение концентраций железа и марганца по направлению от ядра к внешним зонам (обр. 2, пробы 2-1, 2-2, 2-3).

Конкреции марганцовистого ряда относятся ко второй группе. Они характеризуются низким Fe-Mn модулем (1–1.5) и высоким (48–56%) суммарным содержанием главных элементов по всем зонам. В этом отношении безъядерные конкреции как автохтонного ряда, так и конкреции из осадков, формировавшихся в изменяющихся гидрогеодинамических условиях, близки между собой (рис. 4; рис. 5, № 6, 7; рис. 6). Для них характерно низкое содержание микроэлементов в сравнении с другими ЖМО моря Лаптевых, Карского моря [2], а также других морей [3] и океанов [1, 7]. Наряду с этим они обладают наиболее высоким содержанием марганца, в том числе и в сравнении с конкрециями Карского моря [2]. По содержанию железа они не уступают плоским безъядерным конкрециям четвертой группы железистого ряда (пробы 2-1, 2-2 и 2-3, рис.5, № 2).

Содержание железа и марганца в первой группе трубообразных и коркоподобных руд (рис.2,5 обр. 1, 4, 5) варьирует в широких пределах (таблица, пробы 1-1, 1-2; 4-1, 4-6; 5-1, 5-6). В этих образцах на фоне достаточно высоких концентраций железа ($Fe_2O_3 = 23.11-31.89\%$) марганец распределяется крайне неравномерно ($MnO_2 = 2.91-22.02\%$). Благодаря таким особенностям, наблюдаются значительные колебания в железо-марганцевом модуле как в пределах отдельных зон образца, так и между образцами. Особенностью этой группы ЖМО является то, что их внутренние зоны обогащены железом по отношению к внешним слоям, где преобладают окислы марганца. Однако в узкой внешней зоне, на которой часто отмечаются остатки микроколоний простейших, содержание



Рис. 7. Различные типы микроконкреций. Увеличение $\times 8.64$.

Таблица. Результаты анализа проб из железо-марганцевых образований моря Лаптевых.

№ п.п.	Номера проб	Тип пробы	Результаты анализа													
			%							10 ⁻⁴ %						
			Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Ag
1	1	2	10.08	50.01	17.16	0.11	0.02	0.53	1.76	3.86	280	30	100	н.о.	70	н.о.
2	2	2	12.18	49.30	19.16	0.24	0.10	0.55	1.19	1.94	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
3	1-1	1	9.99	28.45	29.35	4.42	0.032	0.451	1.55	1.71	211	60.42	332	90.6	211	22.73
4	1-2	1	6.01	23.35	23.28	20.49	0.318	0.075	1.59	1.75	136	182	272	545	273	90.91
5	2-1	1	8.30	28.75	29.78	5.11	0.036	0.471	1.25	1.40	232	129	310	155	155	51.68
6	2-2	2	4.92	22.33	30.62	7.56	0.471	0.721	1.58	1.10	310	69.6	456	304	152	65.2
7	2-3	3	5.19	23.42	34.15	8.89	0.384	0.704	1.68	1.20	450	150	400	350	150	24.69
8	4-1	1	4.73	23.09	23.30	15.23	0.296	0.638	1.82	1.20	212	96.34	424	289	70.71	н.о.
9	4-2	1	7.49	29.52	31.89	5.44	0.072	0.572	1.30	1.62	138	103	345	138	138	н.о.
10	4-3	1	4.78	22.63	26.17	18.18	0.563	1.029	1.42	1.08	345	276	850	550	506	68.96
11	4-4	1	6.71	28.16	25.19	2.91	0.276	0.698	1.48	1.35	158	78.95	368	158	158	39.47
12	4-5	1	8.59	30.80	28.03	5.99	0.053	0.628	1.56	1.18	75.8	56.82	300	226	189	37.88
13	4-6	3	5.70	21.53	25.20	12.73	0.211	0.483	1.89	1.20	282	70.42	480	241	160	30.2
14	5-1	1	4.60	20.83	35.89	13.63	0.619	0.809	1.79	1.49	н.о.	221	440	442	177	44.25
15	5-2	1	5.20	19.63	23.82	20.31	0.304	0.570	1.98	1.32	688	149	688	413	115	34.40
16	5-3	1	6.57	21.85	23.11	22.02	0.909	1.382	2.88	2.12	320	139	928	557	232	н.о.
17	5-4	4.3	11.91	35.13	13.67	5.54	0.0139	0.348	1.99	2.07	150	40	200.2	120	100	н.о.
18	5-5	4.3	10.61	31.26	17.59	5.44	0.039	0.559	2.27	2.71	н.о.	56.2	307.9	225	н.о.	н.о.
19	5-6	3	9.09	28.10	24.29	4.14	0.214	0.489	2.18	1.76	219	87.5	219	131	153	н.о.
20	6-1	2	4.05	17.21	47.31	2.55	0.469	0.600	0.94	1.23	590	254	268	268	107	13.4
21	6-2	2	4.59	17.82	46.87	2.31	0.258	0.386	0.892	1.03	290	38.91	194	194	156	н.о.
22	6 ₁ -1	1	6.81	19.28	17.05	30.63	0.348	1.493	0.971	4.02	н.о.	н.о.	900.9	н.о.	н.о.	н.о.
23	6 ₁ -2	1	5.07	17.23	30.56	25.49	0.139	0.612	1.26	2.02	н.о.	67.1	403	н.о.	н.о.	н.о.
24	6 ₁ -3	1	4.62	16.28	23.47	24.07	0.171	0.469	1.10	1.37	0.516	67.9	326	272	81.52	н.о.
25	7-1	2	4.97	18.12	31.08	21.64	0.729	0.648	1.05	1.96	н.о.	65.1	260	391	н.о.	н.о.
26	7-2	2	4.92	15.62	31.91	21.86	0.310	0.475	1.12	1.57	0.312	104	313	261	156	26.08
27	3-1	2	10.62	46.11	20.99	0.74	0.082	0.388	2.21	1.63	0.070	46.8	164	140	140	23.12

Примечание. Первая цифра в колонке "Номера проб" обозначает номер образца, вторая – соответствует номеру пробы в последовательности от 1 и т.д. для каждого образца.

Тип проб: 1 – задира, 2 – валовая проба, 3 – соскоб тонкой пленки, 4 – точечная; н.о. – не обнаружено.

марганца остается минимальным (пробы 4-4, 4-5) по отношению к поверхностному слою (проба 4-6).

Степень окисленности была определена в безъядерных конкрециях и в корках руд первой группы. Железо-марганцевые конкреции обладают умеренной ($n=1.78$) и низкой ($n=1.425$, проба 6₁; $n=1.474$, проба 6₁₋₃) по отношению к внешней зоне степенью окисленности марганца. Минералы марганца с умеренной степенью окисленности представлены вернадитом (0.242, 1.44 нм) и бузеритом II (1.0 нм). Окислы с более низкой степенью окисленности оказались рентгеноаморфными. В ЖМО с резкими колебаниями содержания марганца и Fe/Mn отношения предполагается процесс восстановления окислов марганца органическим веществом, как более активных окислителей в сравнении с окислами железа. Степень окисленности марганца в этих образцах колеблется, наиболее низкая ($n=1.374$, проба 4-1) отмечается в зонах с минимальным содержанием железа ($Fe_2O_3=23.30\%$) и модулем (1.5). Для первой группы ЖМО наиболее высокая степень окисленности ($n=1.591$, проба 4-2) присуща зонам с максимальным модулем (5.9) и максимальным содержанием железа ($Fe_2O_3 - 31.89\%$). Все образцы этого типа рентгеноаморфны, проявляется только кристаллическая фаза альфа-кварца.

ОБСУЖДЕНИЕ

В донных осадках шельфа юго-восточной части моря Лаптевых были обнаружены новые, неизвестные ранее железо-марганцевые образования. По структурно-текстурным и внешним признакам мы классифицировали их на пять групп: 1 – трубо- и веретенообразные псевдоморфозы по беспозвоночным; 2 – ядерные и безъядерные конкреции; 3 – жгуто- и трубоподобные каркасы полихет; 4 – плоские и уплощенные корковидные конкреции и корки; 5 – микроконкреции. Все типы ЖМО по степени концентрации, соотношению и суммарному количеству железа и марганца сгруппированы в три основных генетических ряда: собственно железистые образования автохтонной природы (полихеты, гетитовые микроконкреции) и аллохтонной природы (ядерные конкреции); железо-марганцевые конкреции, сформированные в условиях спокойного гидрогеодинамического режима на границе геохимического барьера донный осадок – вода; железо-марганцевые образования с неравномерным содержанием железа и марганца, возникшие в условиях меняющейся физико-химической среды.

Наиболее распространенными железистыми образованиями, присутствующими практически на всех станциях, являются каркасы трубок полихет. Плотность их распространения от станции к станции изменяется и находится в пределах 50–300 экз/м². Железо-марганцевые конкреции, обнаруженные в бухте Тикси, губе Буор-Хая (недалеко от о. Бруснева) и других

станциях, имеют меньшую плотность распределения. Плотность распределения гетитовых микроконкреций достаточно высока, однако продуктивность их из-за малых размеров низкая. Другие типы ЖМО не имеют четкой привязки и распределение их не изучено.

Аллохтонным типам ЖМО присущи признаки литоральных зон. Наличие трещин усыхания в четвертой группе ЖМО указывает на их образование в условиях короткопериодных циклов колебания уровня воды. Аллохтонные типы содержат как двух-, так и трехвалентное железо и обладают низкой степенью окисленности в сравнении с автохтонными, хотя у последних степень окисленности марганца колеблется в широких пределах. Для аллохтонных типов характерны рентгеноаморфные фазы железа и марганца. В автохтонных ЖМО минералы марганца представлены вернадитом и бузеритом. Такие особенности поведения железа и марганца указывают на разные условия их образования.

Для всех типов изученной железо-марганцевой минерализации характерны низкие содержания микроэлементов в сравнении с конкрециями других морей и океанов. Это относится, прежде всего, к кобальту и его спутникам. Для плоских безъядерных конкреций и ЖМО характерны предельно малые концентрации серебра. Некоторые плоские безъядерные конкреции и ЖМО содержат сравнительно высокие концентрации серебра, превышающие среднее значение на порядок (обр. 1-2 – $90,91 \cdot 10^{-4}\%$, обр. 5-1 – $44,25 \cdot 10^{-4}\%$).

Ранее мы отмечали огромную роль реки Лены в поставке терригенного и органического вещества на Лаптевоморский шельф [8]. Дополнительным источником материала может служить абразия материкового берега и островов. Однако главной отличительной чертой условий образования железо-марганцевой минерализации на шельфе моря Лаптевых является окислительно-восстановительный барьер между обогащенным кислородом слоем воды и восстановленными донными осадками [8]. Он создает благоприятные условия для бактериального пути образования железо-марганцевой минерализации. Несмотря на разнообразие обнаруженных морфогенетических типов ЖМО, все они имеют близкую связь с биологической деятельностью. По-видимому, разгадку генезиса ЖМО следует искать в механизмах переработки органического материала бактериями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 98-05-65673).

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов Ю.А., Сорохтин О.Г., Зоненшайн Л.П., Купцов В.М., Лисицина Н.А., Подражанский А.М. Железо-

- марганцевые корки и конкреции подводных гор Тихого океана. М.: Наука, 1998. 230 с.
2. Богданов Ю.А., Горшков А.И., Гурвич Е.Г., Богданова О.Ю., Дубинина Г.И., Иванов Г.В., Исаева А.Б., Муравьев К.Г. Железо-марганцевые конкреции Карского моря // *Океанология*. 1994. Т. 34, № 5. С. 789–800.
 3. Волков И.И. Железо-марганцевые конкреции // *Геохимия донных осадков*. М.: Наука, 1979. С. 414–467.
 4. Кординов А.А. Осадки моря Лаптевых / Тр. НИИГА Главсевморпути. Л.-М.:Изд-во Главсевморпуть, 1952. 161 с.
 5. Попов А.М. Гидробиологический очерк моря Лаптевых // *Исследование морей СССР*. Л.: Изд-во Госгидромет. ин-та, 1932. Вып. 15. С. 189–229.
 6. Семенов Ю.П. Условия образования донных отложений моря Лаптевых // *Геология моря*. Л.: НИИГА, 1971. Вып. 1. С. 47–53.
 7. Скорнякова Н.С. Океанские железо-марганцевые конкреции (закономерности распределения и состава): Автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. М.: ИОРАН, 1989. 69 с.
 8. Тищенко П.Я., Гуков А.Ю., Волкова Т.И., Калягин А.Н., Чичкин Р.В., Семилетов И.П., Можеровский А.В., Куриленко Л.Н. Железо-марганцевые образования моря Лаптевых // *Климатическая и межгодовая изменчивость в системе атмосфера-суша-море в Американско-Азиатском секторе Арктики*. Владивосток, 1998. С. 143–149.
 9. Шнюков Е.Ф., Огородников В.И., Красовский К.С. Железо-марганцевые конкреции морей СССР // *Геол. журн*. 1987. Т. 47, № 1. С. 32–43.
 10. Яковлев А.Б., Кассенс Х., Фюттерер Д. О конкреционных образованиях на шельфе моря Лаптевых // *Научные результаты экспедиции ЛАПЕКС-93 / Под ред. Л.А.Тимохова*. СПб. Гидрометеоздат, 1994. С. 227.
 11. Tishchenko P.Ya., Gukov A.Yu., Kalyagin A.N., Mozherovsky A.V., Volkova T.I., Chichkin R.V., Semiletov I.P., Kurilenko L.N. Ferro-manganese formations of the Laptev Sea // *Sustainable development in the Pacific*. Taipei, 1998.
 12. Vetter K.J., Jaeger N. Potentiausbildung an der Mangan-dioxide-Electrode als Oxidelektrode mit nichtstochiometrischen Oxid // *Electrochim. Acta*. 1966. V. 11, N 4. P.401–419.
 13. Yakovlev A.V. Some lithological-geochemical features of modern bottom sediments of the Laptev sea shelf // *Ber. Poloforsch*. 1995. V. 176. P. 324–333.

Поступила в редакцию 2 января 2000 г.

Рекомендована к печати Ю.И.Бакулиным

A.N.Kalyagin, P.Ya.Tishchenko, A.Yu. Gukov, T.I. Volkova, L.N. Kurilenko and R.V. Chichkin

The nature of the ferromanganese formations of the Laptev Sea

In sediments of the Laptev Sea unknown earlier ferromanganese formations have been found. On the basis of structural-textural external signs they were in five groups: 1) tube- and spindle-shaped pseudomorphoses over and within invertebrates; 2) nuclear and non-nuclear nodules; 3) flagellum- and tube-like skeletons of polychaetes; 4) flat and flattened bark-like nodules and crusts; and 5) micronodules. All types of ferromanganese formations are sorted in three main genetic series: eigenferrous formations of autochthonous (polychaetes, goethite micronodules) and allochthonous (nuclear nodules) nature; ferromanganese nodules formed under mild hydro-geodynamic conditions at the boundary of the "sediment-seawater" geochemical barrier; and ferromanganese formations produced under conditions of the changing physico-chemical medium. Ferromanganese formations of allochthonous type have signs of littoral zones. They contain both bivalent and trivalent iron and have a low degree of oxidation of manganese in comparison with the autochthonous type formations. Manganese minerals with a moderate degree of oxidation are represented by vernadite and buserite. Such features of iron and manganese indicate different conditions of their formation and occurrence. The main distinctive feature of ferromanganese mineralisation of the Laptev Sea is the redox barrier – a water layer enriched in oxygen, and reduced sediments. This barrier provides favorable conditions for bacterial formation of ferromanganese ores. Understanding of the genesis of ferromanganese formations should be found in the study of organic matter treatment by bacteria.