

5) Первый этап фосфатизации на подводных горах связан с мелководной обстановкой и высокой биологической продуктивностью (Г. Н. Батурич. Фосфориты на дне океанов.— М.: Наука, 1978), о чем также свидетельствуют обнаруженные авторами рассматриваемой статьи обломки костей рыб. После погружения гор наступает этап Fe—Mn-минерализации, затем вто-

рой этап фосфатизации, связанный, возможно, с вторичным поднятием гор, брекчированием литифицированных осадков и возобновлением мелководного биогенного осадконакопления, сопровождаемого диагенетической фосфатизацией. Для обоснования этой модели, как и для предлагаемой авторами статьи, требуются независимые геологические данные.

ИТГ ДВО АН СССР

Г. Н. Батурич

УДК 549.324.3(265)

Н. В. Астахова, Н. Г. Разжигаева

МОРФОЛОГИЯ КРИСТАЛЛОВ И СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ПИРИТЕ ИЗ ОСАДКОВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ МОРЕЙ

Приводятся данные о морфологии кристаллов, содержании микроэлементов и изотопном составе серы аутигенных пиритов из различных обстановок осадконакопления дальневосточных морей. Выявлено, что содержания Ni, Co, Cu, Pb, Sb и As в морском аутиген-

ном пирите не зависят от условий осадконакопления и его генезиса. Существенные отличия между биогенным и абиогенным пиритом наблюдаются только по ультрамикроструктурам.

Аутигенные сульфиды являются довольно распространенным минералом в морских осадках и присутствуют в разных фациях как глубоководных, так и прибрежно-морских отложений. В данной работе анализируются содержание микроэлементов и морфология кристаллов немагнитных сульфидов железа из различных обстановок осадконакопления дальневосточных морей: впадины Дерюгина Охотского моря, Татарского пролива, района подводной возвышенности, лагуны, реликтового озера на одном из островов Японского моря, шельфа Южно-Китайского моря (табл. 1).

Рентгенографический анализ отобранных монофракций немагнитных сульфидов показал, что все они представлены пиритом. Только в районе подводной возвышенности Японского моря обнаружено незначительное количество марказита (табл. 2).

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Макроскопически изученные монофракции пирита представлены корками, сферическими образованиями и их сростками, а также вы-

Т а б л и ц а 1

Место отбора проб немагнитных сульфидов железа и характеристика вмещающих осадков

Район	Глубина моря (озера), м	Характеристика пробы осадков, вмещающих сульфиды	Возраст отложений	Интервал отбора, м	Минерал по данным рентгенографического анализа
1	1680	Ил алеврито-пелитовый, серый, с легким голубоватым оттенком	Q _{III}	1,5—3,0	Пирит
2	800	Ил алеврито-пелитовый, зеленовато-серый, тонкослоистый	Q _{III} —Q _{IV}	1,4—1,5	Пирит
3	400—600	Ил мелкоалевритовый бурый с примесью щебня	Q _{IV}	0—0,3	Пирит + марказит
4	5	Ил алеврито-пелитовый темно-серый	Q _{IV}	7,0—10,0	Пирит
5	0,5	Ил алеврито-пелитовый серый	Q _{IV}	1,5—4,0	Пирит
6	120	Реликтовые лагунные суглинки сильно биотурбированные в морских условиях, с ходами илоседов, заполненных среднезернистым песком	Q _{III}	0,05—0,11	Пирит

Примечание. 1 — впадина Дерюгина; 2 — Татарский пролив; 3—5 — Японское море; 3 — возвышенность, 4 — лагуна, 5 — островное озеро; 6 — шельф Южно-Китайского моря.

Таблица 2

Данные рентгенографического анализа немагнитных сульфидов железа

Впадина Дерюгина (Охотское море)		Возвышенность (Японское море)	
$d/n, \text{Å}$	I	$d/n, \text{Å}$	I
2,66	10	2,70	10
2,39	8	2,41	10
2,19	6	2,20	9
1,90	6	1,91	8
1,62	10	1,64	10
1,44	6	1,50	6
1,04	10	1,44	7
1,01	8	1,21	6
0,99	7	1,18	6
		1,10	6
		1,04	10
		1,01	7
		0,99	6

Примечание. Камера РКД 57,3 мм, 35 кВ, 1,5 МА, экспозиция 4 ч, УРС-60. Fe-излучение, фильтр Мп. Аналитик С. М. Горюхина (ДВГИ ДВО АН СССР).

полняют створки диатомей, раковины фораминифер, остракод, спикулы губок, пыльцу. Окраска пирита в основном желтого, серого и черного цвета. Во впадине Дерюгина для пирита характерна побежалость ярко-синего, зеленого, малинового цвета.

Пирит впадины Дерюгина представлен шаровидными образованиями, не превышающими 0,1 мм в диаметре, их сростками разной формы и размеров. Иногда они заполняют камеры фораминифер. Отмечены единичные скрытокристаллические образования типа «стружки».

При большом увеличении на экране сканирующего электронного микроскопа видно, что шаровидные образования представляют собой в основном фрамбоиды с плотной упаковкой октаэдрических (рис. 1, з) и пентагон-додкаэдрических (см. рис 1, ж) кристаллов. Помимо этого, встречаются глобулы пирита, имеющие колломорфную структуру и трещиноватую, слегка «всхолмленную» поверхность (рис. 2, а). Отмечается также неоднородное строение отдельных сферических образований. Одни их участки имеют слегка «всхолмленную» и трещиноватую поверхность, другие кристаллическую (см. рис. 1, г). Эти образования являются, по-видимому, переходной формой от глобулей к фрамбоидам. Последние образуют крупные сростки, иногда достигающие в длину 7 мм. Упаковка их может быть плотной и рыхлой (см. рис 1, а, б). Рыхлые сростки сформированы образованиями разного размера, плотные, как правило, имеют близкие размеры, но поверхность их сложена более мелкими разноразмерными образованиями (см. рис. 1, в).

Скрытокристаллические образования стального серого цвета, иногда с радужной побежалостью, напоминают обломки стружки с наростами разно- и одноразмерных (см. рис 1, д, е) фрамбоидов. Цвет фрамбоидов в одних случаях близок к цвету самой «стружки», в других — имеет ярко-синюю побежалость (см. рис. 1, д, е). Поверхность одних «стружек» имеет колломорфное строение, других, наряду с этим, и зернистое (см. рис 1, д, ж), образованное плотно прилегающими глобулями.

Пирит Татарского пролива образует агрегаты в виде плоских корок черного цвета длиной до 3 мм. При увеличении в 2000 раз отмечаются лишь несовершенные глобулы и их агрегаты с нечеткими границами (см. рис. 2, ж). Поверхность глобул неровная, трещиноватая. По-видимому, это начальная стадия формирования кристаллического пирита.

Пирит из района возвышенности в восточной части Японского моря мелкозернистый, в основном замещает органические остатки: спикулы губок, ракушки и т. д., но встречается и в виде бесформенных агрегатов, достигающих размеров до 0,5 мм. Цвет первоначально был в основном желтый, но в результате окисления вещества стал темно-серым.

Пирит лагуны встречается в виде отдельных шаровидных образований, чаще из сростков и неправильных корок, не превышающих 0,25 мм. В небольших количествах выполняет органические остатки. При большом увеличении видно, что эти образования имеют структуру от почти колломорфной до фрамбоидальной, что указывает на разные стадии раскристаллизации пирита (см. рис. 2, в — д). Пирит, формирующийся внутри раковин фораминифер, полностью выполняет раковину и детально

Таблица 3

Содержание микроэлементов в аутигенном пирите из осадков дальневосточных морей (10^{-3} %)

Элемент	1	2	3	4	5	6
Mn	51,0	250,9	119,6	36,8	153,3	134,5
Ni	42,5	34,1	25,3	36,8	219,0	18,2
Co	23,2	14,1	15,7	16,3	116,8	15,8
Cu	8,5	18,6	11,0	10,2	73,0	10,5
Pb	10,8	14,1	12,8	19,4	138,7	11,0
Cd	10,8	1,5	1,2	2,0	14,6	0,8
Cr	4,3	8,2	5,0	11,2	2,7	17,5
Ag	4,0	0,7	0	0	0	0,4
Sb	48,2	63,1	46,4	91,9	656,9	44,4
As	170,0	111,4	116,1	255,4	1094,8	111,1

Примечание. Содержание микроэлементов определялось методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. Определения Mn, Ni, Co, Cu, Pb, Cr выполнено в ТИГ ДВО АН СССР, аналитик Г. А. Власова, Cd, Ag, Sb, As — в ДВГИ ДВО АН СССР, аналитики В. Ф. Зайна, А. И. Малыгина, 1—6 — районы исследований (см. в табл. 1).

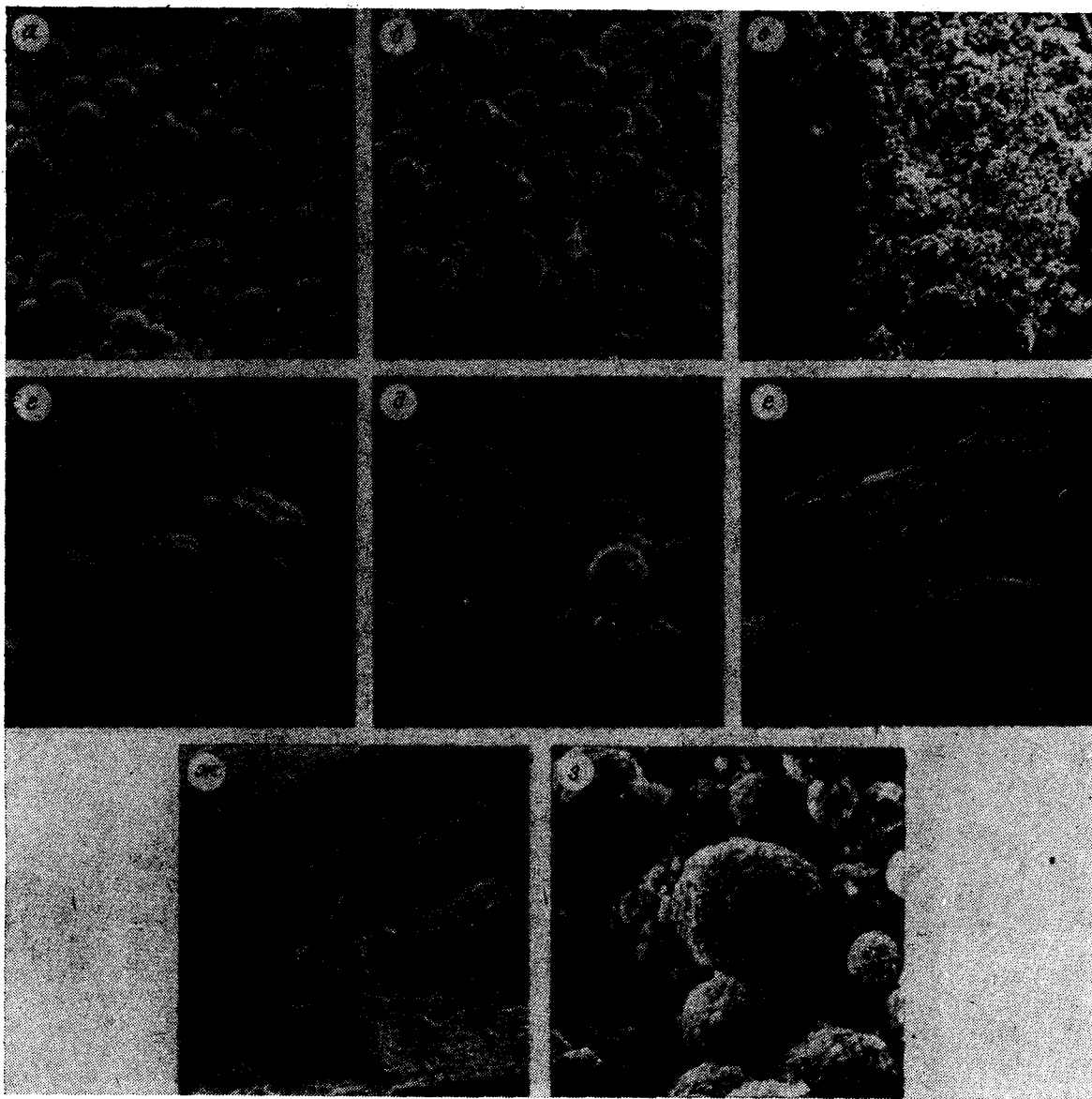


Рис. 1. Морфологические разновидности агрегатов и фрамбOIDов пирита из осадков впадины Дерюгина Охотского моря.

a — агрегаты синих фрамбOIDов пирита с плотной упаковкой одноразмерных образований, $\times 1000$; *b* — агрегаты зеленовато-синих фрамбOIDов пирита с **рыхлой** упаковкой разноразмерных образований, $\times 600$; *c* — поверхность агрегатов фрамбOIDального пирита синего цвета с «присыпкой» более поздних образований черного цвета, $\times 600$; *z* — переход от глобулярного пирита к фрамбOIDальному, $\times 2000$; *d, e* — скрытокристаллические образования типа «стружки» с наростами разно- (*d*) и одноразмерных (*e*) фрамбOIDов пирита, соответственно $\times 200$, $\times 600$; *zh, z* — фрамбOIDы с плотной упаковкой пентагон-додекаэдрических (*zh*) и октаэдрических (*z*) кристаллов, соответственно $\times 600$, $\times 3000$.

повторяет структуру створки (см. рис. 2, *e*).

Пирит реликтового озера встречается в виде корок, реже наблюдаются отдельные шаровидные образования серого и желтого цвета размером до 0,1 мм, и псевдоморфозы по органике. Цвет самих корок меняется по разрезу: в верхней части присутствуют темно-серые образования с белым налетом на поверхности, в нижних горизонтах — желтые. Шаровидные образования желтого цвета представляют собой идеальные фрамбOIDы с плотной упаковкой

одноразмерных пентагон-додекаэдрических кристаллов (см. рис. 2, *b*).

Пирит шельфа Южно-Китайского моря встречается в виде бесформенных или удлинённых агрегатов разного размера. Иногда встречаются сростки с терригенными минералами. При большом увеличении видно, что агрегаты являются обломками более крупных образований (см. рис. 2, *z*). На склоне четко выделяются хорошо ограниченные октаэдрические кристаллы пирита, погруженные в мелкокристаллическую массу.

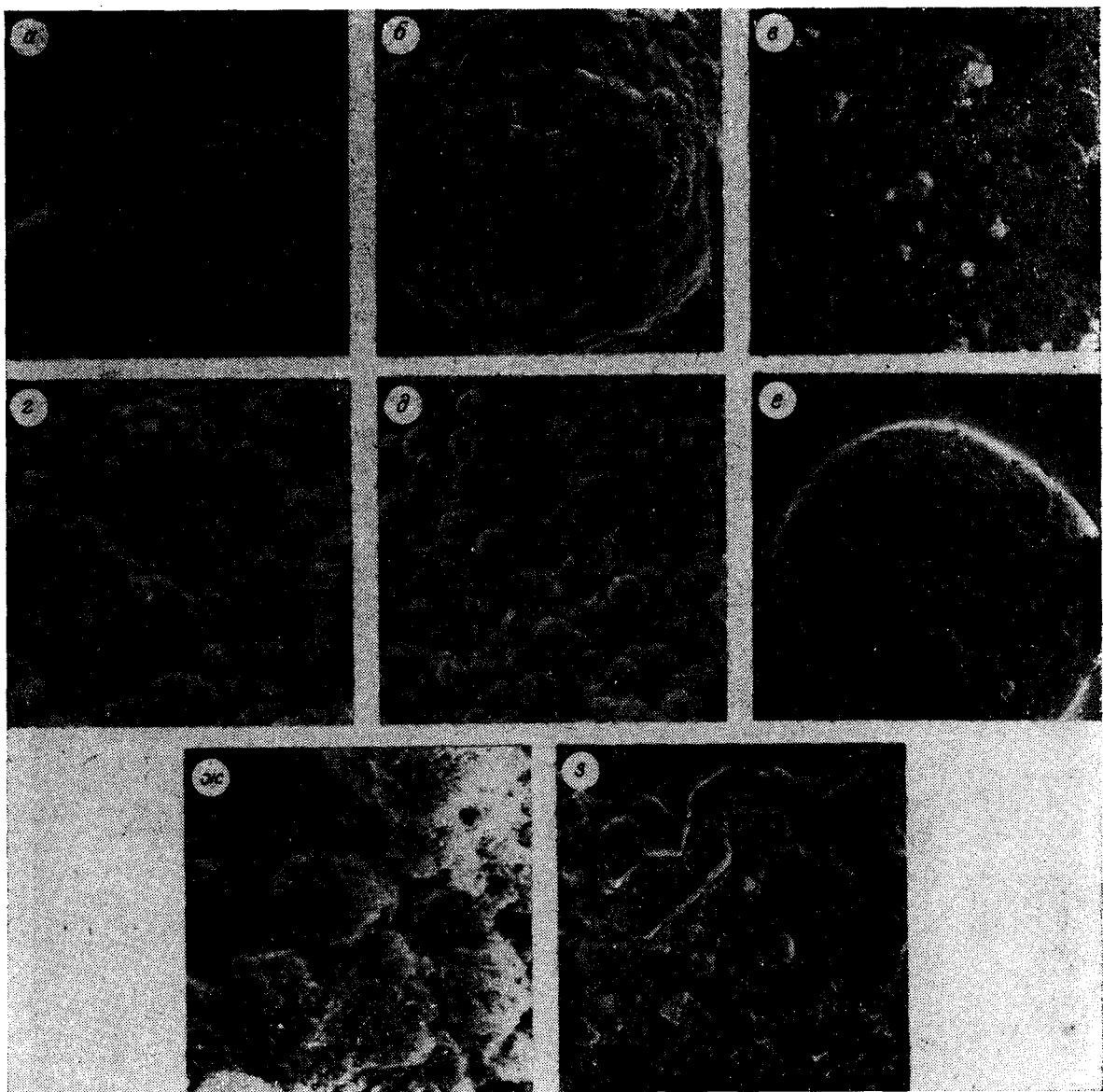


Рис. 2. Морфологические разновидности агрегатов пирита из осадков дальневосточных морей:

a — колломорфная структура и трещиноватая поверхность глобул зеленовато-синего пирита (впадина Дерюгина), $\times 7000$; *b* — идеальный фрамбоид пирита (островное озеро), $\times 7000$; *c* — *d* — агрегаты пирита неправильной формы: *c* — колломорфная структура, *d* — начальная стадия формирования глобул, *d* — глобулярная структура (лагуна), соответственно $\times 2000$, $\times 2000$, $\times 1500$; *e* — пирит, замещающий раковину фораминиферы (лагуна), $\times 500$; *ж* — агрегаты несовершенных глобул (Татарский пролив), $\times 2000$; *з* — октаэдрические кристаллы пирита, погруженные в мелкокристаллическую массу. Поверхность агрегатов покрыта, по-видимому, аморфной пленкой (шельф Южно-Китайского моря), $\times 2000$.

Поверхность агрегатов покрыта, по-видимому, аморфной пленкой, облегающей и сглаживающей выступающие грани кристаллов.

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ

Пирит из различных морских обстановок осадконакопления характеризуется равномерным содержанием Co, Ni, Cu, Pb, Sb, As (табл. 3). Распределение Ag, Cd, Cr имеет более неравномерный характер, причем наблю-

дается обратная зависимость между концентрациями последних элементов. Уменьшение содержания Cr в глубоководных осадках связано с тенденцией накопления его в прибрежно-морских отложениях [6]. Некоторое увеличение Ni, Co, Cd, Ag отмечается в пиритах впадины Дерюгина, которые отличаются и по облику от других изученных образцов яркой, пестрой побегалостью.

Резкое отличие наблюдается по содержанию Mn, что, вероятно, может быть объяснено конкретными фациальными условиями, скоро-

Изотопный состав серы аутигенного пирита

Район	$\delta^{34}\text{S} \text{‰}$	Район	$\delta^{34}\text{S} \text{‰}$
1	-36,1	4	-32,7
2	-44,7	4	-33,9
3	-45,4	6	+10,9
4	-35,3		

Примечание. Изотопный анализ серы пиритов проводился в Отделе изотопных исследований Института водных проблем АН СССР на масс-спектрометре GD-150 с точностью $\pm 0,5 \text{‰}$ по общепринятой методике. Аналитик В. И. Мальцева. Район см. в табл. 1

женная в этом районе аномалия природных газов подтверждает наличие тектонически активной зоны на границе шельфа и материкового склона. [5].

ВЫВОДЫ

Макроскопически существенных отличий между биогенными и абиогенными пиритами не обнаружено. Резкие отличия отмечены по ультрамикроструктурам. Пирит, образованный в результате сульфатредукции, имеет структуру от колломорфной до фрамбоидальной. Агрегаты же абиогенного пирита представляют собой плотную микрокристаллическую массу с погруженными в нее хорошо ограниченными октаэдрическими кристаллами.

В результате исследований выявлено, что содержание элементов-примесей Ni, Co, Cu, Pb, Sb, As в морском аутигенном пирите не зависит от условий осадконакопления и от его генезиса. Существенные отличия по химическому составу наблюдаются лишь между морскими и пресноводными пиритами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшков А. П. Исследования подводных вулканов в 10-м рейсе НИС «Вулканолог» // Вулканология и сейсмология.— 1981.— № 6.
2. Гриненко В. Л., Гриненко Л. Н. Геохимия изотопов серы.— М.: Наука, 1974.
3. Дегенс Э. Т. Геохимия осадочных образований.— М.: Мир, 1967.
4. Лейн А. Ю. Биогеохимия серы в осадочном цикле пород: Дис. докт. геол.— М., 1983.
5. Обжиров А. И., Ильичев В. И., Кулинич Р. Г. Аномалия природных газов в придонной воде Южно-Китайского моря // Докл. АН СССР.—1985.— Т. 281, № 5.
6. Стравов Н. М. Механизм распределения и накопления элементов железомарганцевой группы // Химия океанов.— М.: Наука, 1979.— Т. 2.

ТОИ, ТИГ ДВО АН СССР
Владивосток

Поступила в редакцию
8 июня 1987 г.