

РОЛЬ БИОСА В ФОРМИРОВАНИИ ФОСФОРИТОВ РАЙОНА КУСЕЙР – САФАГА (ПОБЕРЕЖЬЕ КРАСНОГО МОРЯ, ЕГИПЕТ)

М. В. Абдель Мугхни, С. М. Пилюгин

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 5 марта 2010 г.

Аннотация. Биогенные элементы в исследованных фосфоритах района Кусейр – Сафага представлены коллофановыми пеллетами и фосфатными биогенными зернами – копролитами, фрагментами костей позвоночных, зубами рыб, остатками раковин и других организмов (устриц, водорослей и фораминифер).

Объем копролитовых пеллет достигает до 50 % от общего числа фосфатных зерен. Внутренняя структура их весьма разнообразная. Точечная структура во многих пеллетах обусловлена деятельностью микробиоса (бактерий).

Фрагменты костей и зубов доминируют во многих фосфатных породах. Бактериальная активность отмечается внутри костных остатков, где вторичный коллофан заполняет пустоты.

Устричные раковины представлены вытянутыми, иногда волнисто-вытянутыми фиброзными фрагментами. Частично устричные раковины фосфатизированы. Фрагменты макро- и микроскелетов водорослей часто имеют первичную структуру. Фрагменты и полные фоссилии фораминифер наблюдаются в небольшом количестве (<7 %). Раковины фораминифер нередко замещены фосфатным веществом.

Ключевые слова: фосфориты Египта, копролиты, пеллеты, костные остатки, фораминиферы, водоросли.

Abstract. Marine organisms play a great role in the formation of phosphate rocks in Quseir – Safaga area. Biological forms in the studied phosphorites are represented by phosphatic biogenic grains – coprolites, fragments of vertebrate bones and teeth of fishes and remains of other organisms (oyster, algae and foraminifera).

Grains of coprolites compose up to 50 % of the phosphatic grains and their internal structure is differentiated and sometimes due to the many of microbiological activities (bacteria). Fragments of bones and fish teeth dominate in many phosphate rocks. Bacterial activity observed in bone remains, where the secondary collophane fills the tunnels which are produced by the bacterial actions.

Oyster shells are elongated with fibrous structure. Partially oyster shells are phosphatized. Fragments of the macro- and microalgae are often having the primary structure. Shell fragments and complete fossils of the foraminifera are observed in small amounts (<7 %). The calcite in the foraminiferal shells sometimes substituted by phosphate minerals.

Key words: Egyptian phosphates, coprolite, pellets, bone fragments, foraminifera, algae

Введение

В пределах Египта имеется четыре фосфоритноносных района, в том числе Кусейр – Сафага, расположенный на берегу Красного моря (рис. 1). Фосфориты в них приурочены к широко распространенным здесь отложениям кампанского и маастрихтского ярусов, объединяемых в свиту Дауи. Мощности фосфоритноносных толщ, представленных песчаниками, глинами, гипсами, мергелями, устричными известняками и фосфоритами, колеблются в пределах 10–60 м, а собственно плас-

тов фосфоритов, которых насчитывается до 11, – от 0,1 до 1,7 м (рис. 2).

Фосфориты в разных месторождениях представлены как неокисленными, так и окисленными разновидностями. Первая из них черная или темно-серая из-за распыленного органического вещества и рассеянных кристаллов пирита. Э. Л. Школьник с соавторами [1] показал, что черный цвет мало- или неизмененных фосфоритов является одним из признаков их биологической природы. Окисленные фосфориты являются светло-коричневыми, бледно-желтыми, светло-серыми или белыми, мягкими, реже – твердыми породами.

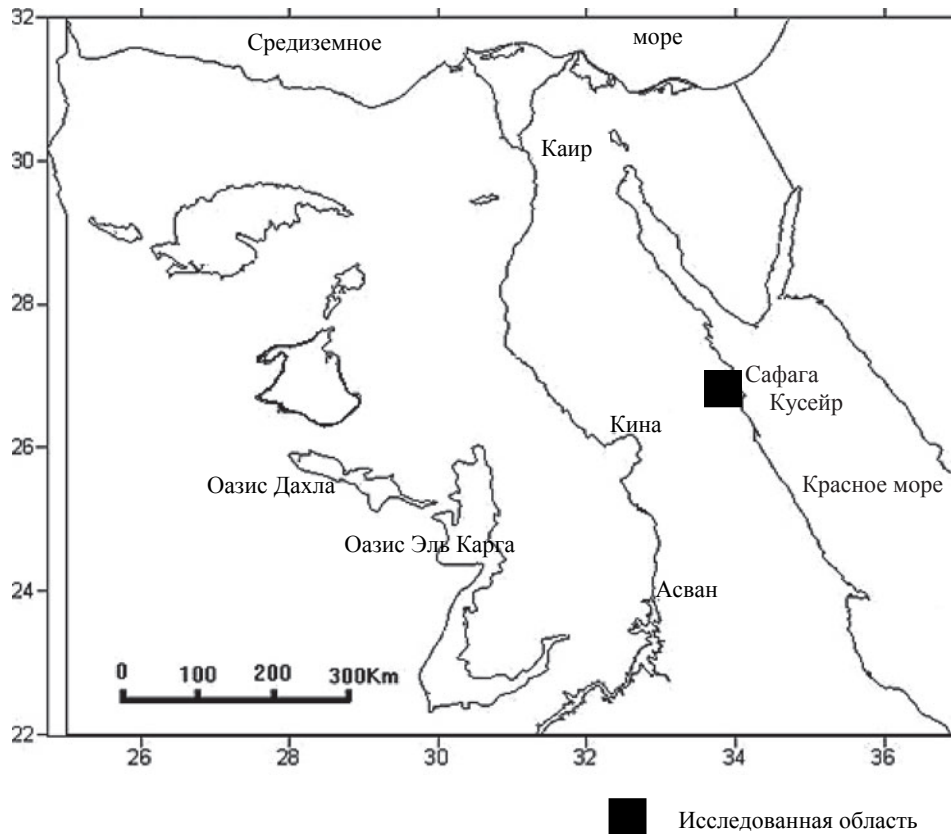


Рис. 1. Место отбора образцов

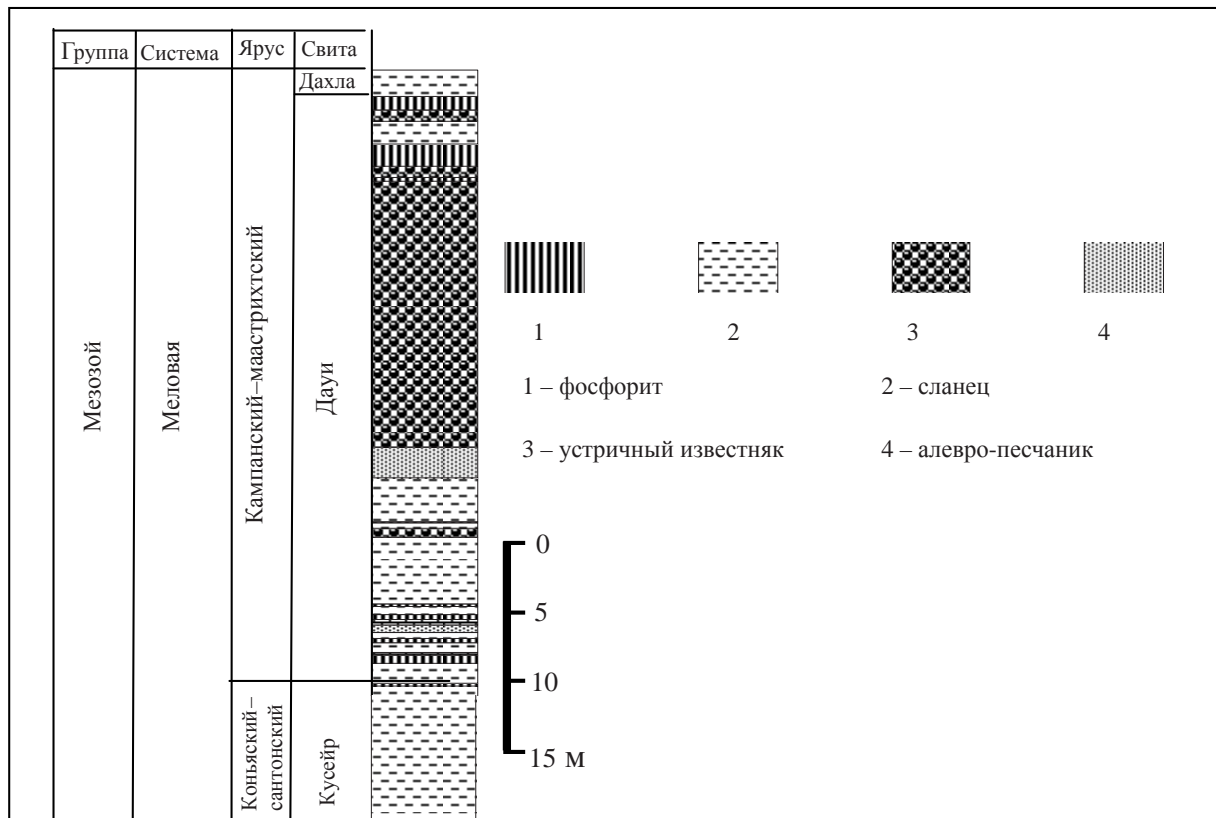


Рис. 2. Литостратиграфическая колонка изученной области

По данным микроскопических исследований, фосфориты сложены фосфатными и нефосфатными компонентами. К последней категории относятся зерна кварца, доломит, кальцит, опал, гипс, плагиоклаз, глинистые минералы, а также окислы железа. Фосфатные компоненты представлены коллофановыми пеллетами и фосфатными биогенными зернами – копролитами, фрагментами костей позвоночных, зубами рыб, остатками раковин и других организмов.

Современные морские фосфориты связаны с высокой биологической активностью. Апатит образуется за счет органических веществ, а его формирование происходит в зоне морского дна (несколько сантиметров), максимально обогащенной фтором и оксидом фосфора [7, 11, 15]. Шараф Эль Деен [5] показал, что в некоторых пеллетах фосфорита присутствуют маты бактерий. На первых порах изучения фосфоритов района Кусейр – Сафага органические остатки практически не исследовались, а их роль в фосфоритообразовании была до конца не ясна. В настоящей статье основное внимание уделяется петрографическим характеристикам фосфатных зерен органического происхождения.

Копролитовые зерна и пеллеты

Копролитовые гранулы, пеллеты, литокласты (обломки) и реже встречающиеся оолитовые зерна сложены обычно коллофаном. Цвет копролитовых гранул и пеллет варьирует от одного образца к другому и в пределах одного и того же образца и зависит от характера пигмента, углеродистого или железистого. Зерна фосфорита округлые и овальные, пластинчатые или неправильной формы. Округлые и овальные, а также удлиненные фосфатные зерна являются фекальными остатками (копролитами) морских организмов. В осадках шельфа Юго-Западной Африки копролиты составляют до 50–70 % осадков [6], причем внутри них обнаружены округлые фосфатные зерна диаметром 0,03–0,13 мм [7].

Коллофан в копролитовых пеллетах представлен изотропным, скрытокристаллическим и реже микрокристаллическим фосфатом. Изучение в СЭМ показало, что количество копролитовых гранул достигает до 50 % от общего числа фосфатных зерен (рис. 3, а). Копролитовые гранулы имеют разную размерность, а также различные внутренние структуры и текстуры.

Фосфоритовые зерна отличают широкий диапазон размерности – от пелитовой до галечной. По

морфологии выделяются угловатые, округлые формы. Преобладают угловатые зерна с размерностью от грубого алеврита до крупного гравия (4 мм). Все это свидетельствует о частых сменах гидродинамических режимов, преимущественно активных, вызывающих сильную волновую деятельность.

Гидродинамические режимы были непостоянными в пределах одного и того же стратиграфического уровня, о чем свидетельствует разнонаправленная кося слоистость. Иногда отмечается однонаправленная ориентировка зерен потокового типа (рис. 3, б). Расположение удлиненных зерен фосфорита в шлифах обусловлено юго-восточным направлением морских палеотечений [8].

Внешние границы зерен, как правило, четкие, но в ряде случаев разграничение их затруднено в результате частичного замещения коллофана карбонатами (кальцитом). Цвет пеллет колеблется от темно-желтого до желтого, но иногда они приобретают красновато-бурую окраску, связанную с процессами ожелезнения. Внутренняя структура пеллет весьма разнообразная – от бесструктурной их разновидности до пятнистой и точечной. Исследование фосфатных копролитовых зерен под электронным микроскопом свидетельствует о том, что точечная структура во многих пеллетах обусловлена деятельностью микробиоса (бактерий).

В некоторых копролитовых зернах наблюдаются различные формы жизнедеятельности организмов. Иногда в результате бактериального воздействия образованы многочисленные тоннели в зернах копролита. Диаметр отверстий бактериальных тоннелей не превышает 2 мкм (рис. 3, в). Нередко отмечаются бактериальные колонии округлой и округло-удлиненной формы.

Внешняя граница отдельных пеллет частично корродированна бактериями (рис. 3, г). Полное или частичное замещение коллофана кварцем в пеллетах обусловлено появлением микрошаровидных зерен аморфного кремнезема в порах, появляющихся при растворении фосфатных зерен (рис. 3, д).

Иногда коллофановые пеллеты зональны, что выражается в их блоковости и потемнении цвета на краях пеллет. Обычно пеллеты округлые, изометричные или удлиненные. Некоторые из них являются бесформенными из-за сжатия, происшедшего в результате неполного уплотнения осадка при диагенезе [9].

Коллофановые гранулы преимущественно простые. В некоторых случаях две или более пеллет объединяются вместе, формируя гранулы сложно-

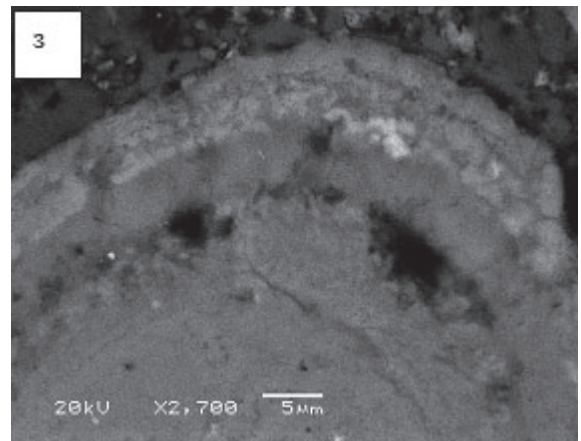
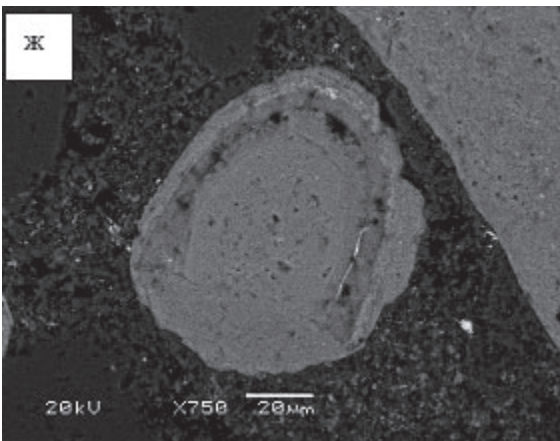
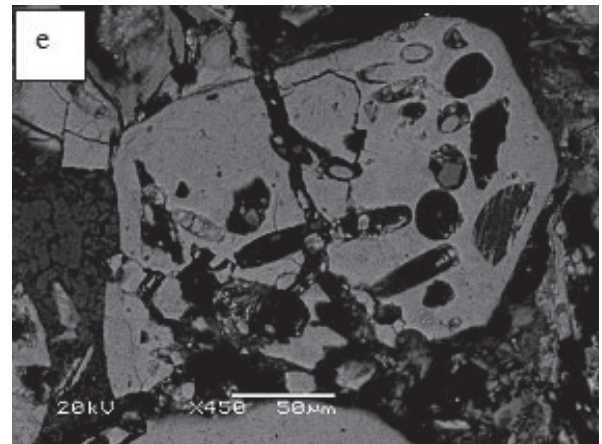
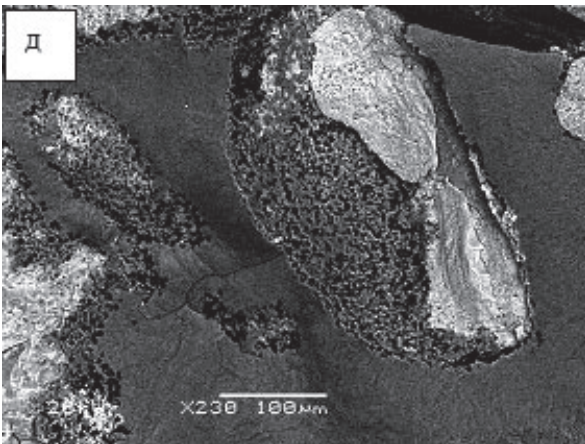
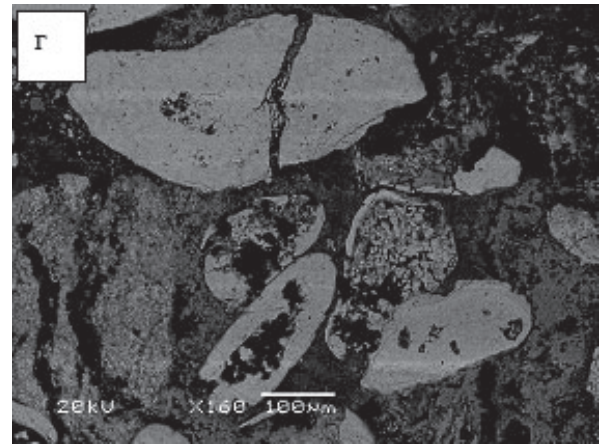
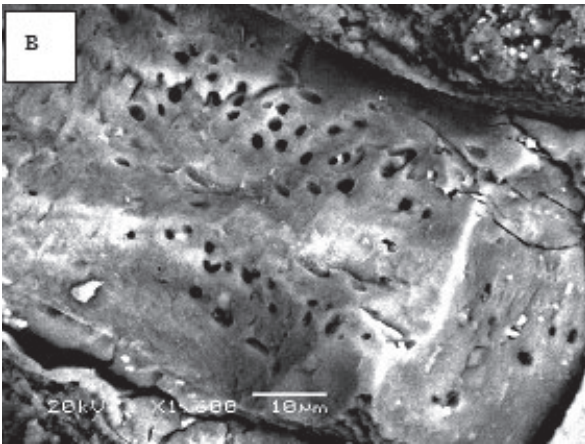
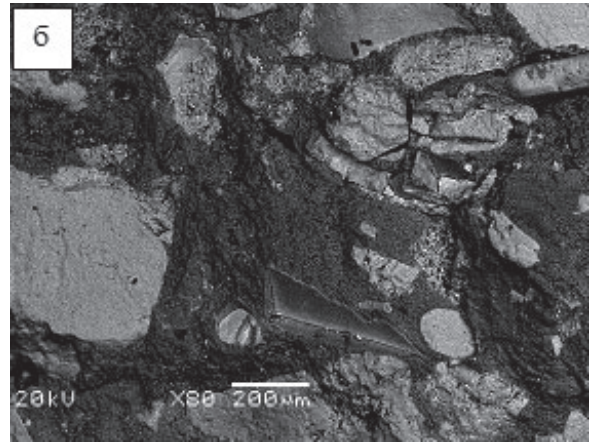
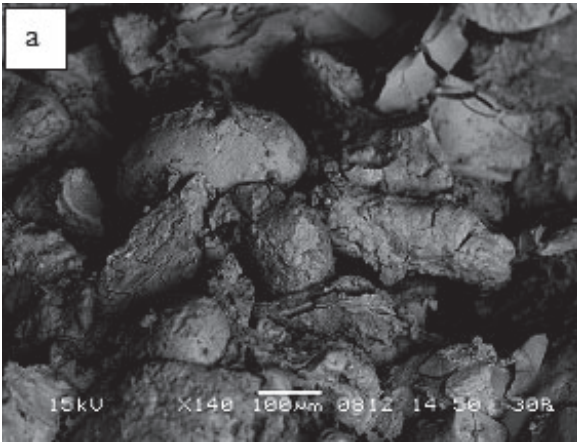


Рис. 3. Электронно-микроскопические снимки фосфоритов. Фосфатизированные копролитовые фрагменты с разными биологическими структурами в фосфоритах месторождения Кусейр – Сафага, побережье Красного моря: а – различные фосфатные зерна копролитов представлены овальными, удлинёнными и неправильными, часто округлыми пеллетами; б – различные фосфатные зерна биологического мата; водорослей (В) и удлинённые, овальные и капсульные копролиты (К); в – удлинённое фосфатное зерно органического происхождения, подвергнутое бактериальной переработке с созданием тоннелей; г – фосфатные пеллеты биологического мата, в различной степени подвергшиеся бактериальной деятельности; д – округлые фосфатные пеллеты, замещающиеся шаровидными образованиями кварца. Степень замещения обычно частичная, реже полная; е – сложное фосфатное зерно, содержащее различные фрагменты фоссилий, возможно, водорослей; ж – округлое фосфатное зерно окружено несколькими тонкими фосфатными оболочками; з – то же, большее увеличение

го строения. Они содержат зерна кварца и других минералов, по трещинам интенсивно дислоцированы и фрагментированы (рис. 3, е). Также в изученных породах встречаются оолитовые текстуры, представленные фосфатными пеллетами зонального строения. В краевых частях пеллет фиксируется несколько химически неоднородных оболочек толщиной от 5 до 25 мкм (рис. 3, ж, з).

В целом, многочисленные пеллеты коллофана представляют фекальные гранулы. Некоторые коллофановые гранулы окатаны, что свидетельствует об их переотложении. В крупнозернистых фосфатных породах развиты трещины. Часто наблюдается замена коллофановых зерен цементирующим нефосфатным материалом. При этом замещение происходит либо по их периферии, либо по трещинам и полостям. Иногда наблюдается параллельная или слабо наклонная слоистость, свидетельствующая об относительно слабом гидродинамическом режиме.

Фрагменты костей и зубов

Фосфатные биокласты в рассмотренных фосфоритах представлены фрагментами раковин беспозвоночных, но наиболее распространены костные остатки позвоночных. Фрагменты костей и зубов доминируют во многих фосфатных породах района Кусейр – Сафага и иногда имеют размер более 6 см (рис. 4, а). Они встречаются в фосфатных породах повсеместно с различным процентным содержанием.

В нижней части свиты Дауи количество костных остатков составляет от 5 до 30 %, в среднем 15 %, в верхней части – от 3 до 10 %, в среднем 6 % во всех исследованных образцах. Костные фрагменты обычно имеют больший размер, чем гранулы коллофана.

Костные остатки светло-коричневые, красновато-коричневые, а также светло-желтые, как правило, удлинённые и угловатые, а также дислоцированы в результате уплотнения на постседиментационной стадии (рис. 4, б). Некоторые трещины

залечены коллофаном или другими минералами, например кальцитом. Они имеют слоистое (ламнарное) погасание. В некоторых образцах наблюдается замещение коллофана кварцем. В результате этого костные остатки становятся бесцветными с частично сохраняющимися внешними границами (рис. 4, в). В других случаях фрагменты костей замещены карбонатными минералами.

Активная микробактериальная деятельность наблюдается в костных остатках благодаря их пористой структуре, способствующей развитию микроорганизмов. Бактериальная колония отмечается внутри костных остатков, где вторичный коллофан заполняет туннели (рис. 4, г; 5, а, б). Микробактериальные формы широко распространены в костных остатках. Среди них различают бактерии и цианобактерии, находящиеся внутри микробактериальных туннелей в морских захороненных костных остатках [10–12]. Образование костных туннелей происходит в результате растворения минеральных и органических матриц костей [3].

Общее увеличение костных фрагментов коррелируется с увеличением размеров гранул коллофана и зерен кварца [9]. Кроме зубов акул, костные остатки позвоночных в основном плохой сохранности, что свидетельствует о фрагментации скелетов при активном гидродинамическом режиме волнами и течениями. Хорошо сохранившиеся костные остатки позвоночных могут отложиться вблизи берега в спокойной среде в глинистом матриксе. Сравнительное обогащение фосфоритов зернами кварца и костными фрагментами свидетельствует об увеличении привноса обломочных компонентов и активизации гидродинамического режима при их накоплении.

Устричные раковины

Самыми распространёнными органическими остатками в отложениях свиты Дауи являются устричные раковины, отмечающиеся по всему разрезу формации. В нижней части они наблюдаются в незначительном количестве, а выше их со-

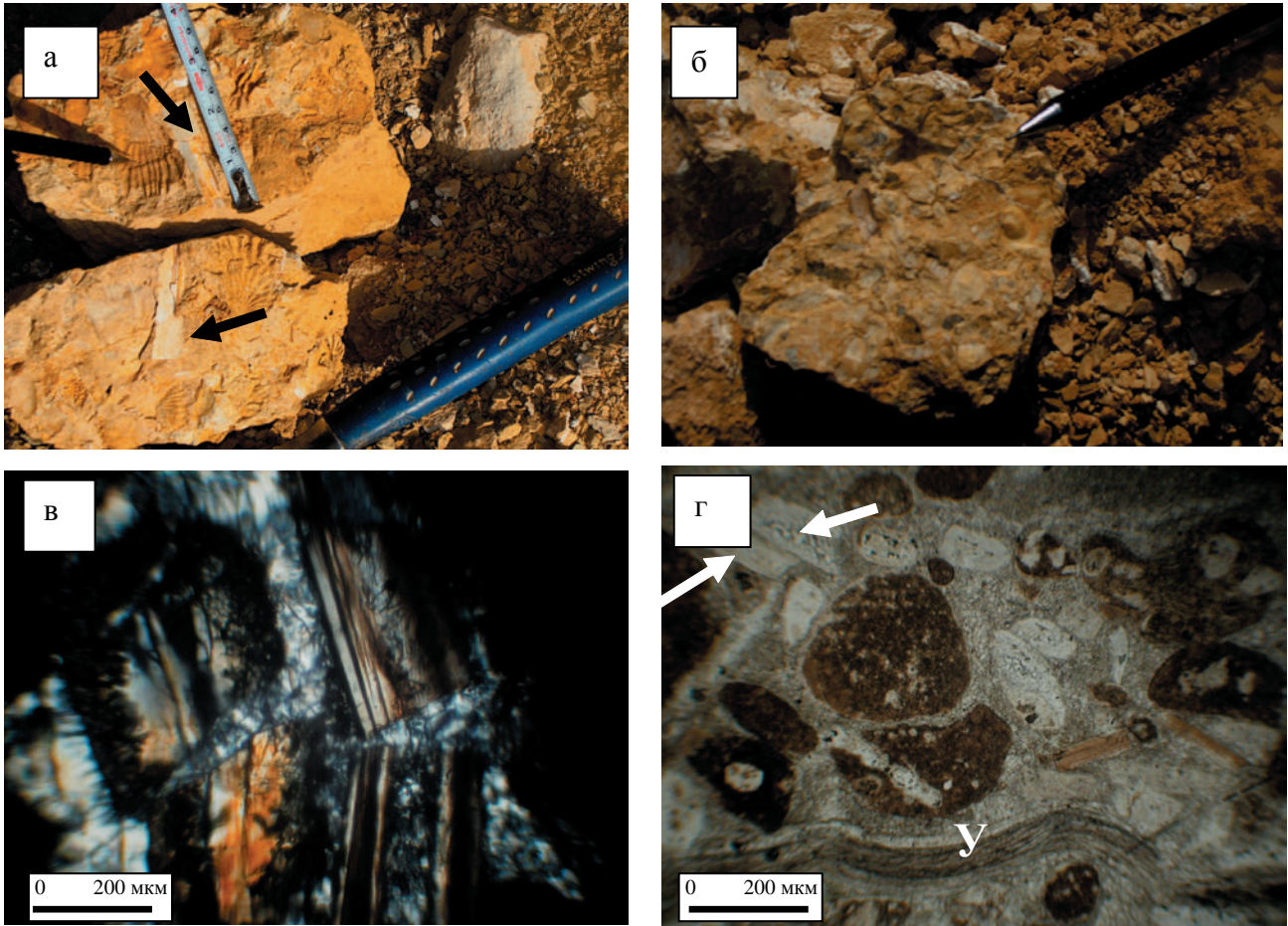


Рис. 4. Снимки костных остатков в некоторых рассматриваемых фосфоритах: а, б – костные остатки (указаны черными стрелками) и устричные раковины в фосфатных образцах; в – разрушенные фосфатные костные остатки, внутри которых фосфатный материал замещен кристаллическим кварцем; г – фосфатные зерна (пеллеты и костные остатки) замещены кварцем (белые стрелки). Также присутствует удлиненный устричный фрагмент (У)

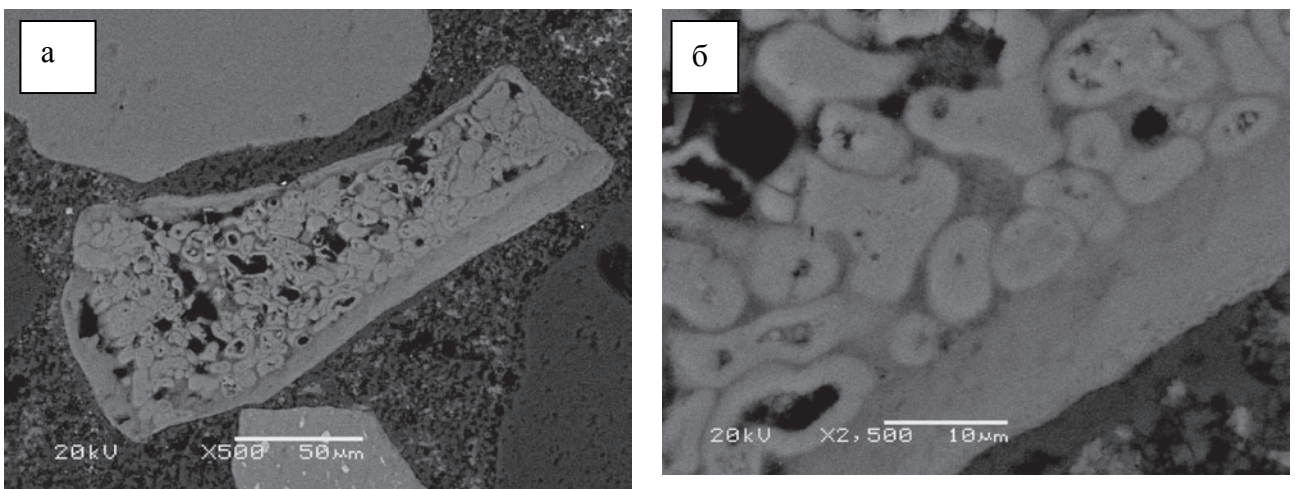


Рис. 5. Электронно-микроскопические снимки костных остатков: а – бактериальная колония внутри костного остатка; б – то же, большее увеличение

держание увеличивается, и раковины формируют массивные слои. По площади мощность слоев, содержащих устричные раковины, различается. В районе побережья Красного моря она достигает 20 м на юге, а на севере такие отложения отсутствуют.

При микроскопических исследованиях устричные раковины представлены вытянутыми, иногда волнисто-вытянутыми фиброзными фрагментами. Размер их колеблется от 0,1 до 3 мм и редко превышает 3 мм (рис. 4, г).

Стенки раковин устриц состоят из небольших многочисленных агрегатов удлиненно-параллельных полостей, заполненных кальцитом, формирующих субъединицы в двух направлениях относительно к краям оболочек. В целом, устричные раковины состоят из скрытокристаллического, а также микрокристаллического кальцита. В некоторых исследованных шлифах устричные раковины частично фосфатизированы и окварцованы. Кальцит замещен кварцем, причем кристаллы последнего растут в различных направлениях: от центра к краю раковины или наоборот. Иногда внешний край устричной раковины образован макрокристаллическом кальцитом, тогда как внутренняя часть сложена крипнокристаллической разностью. Это свидетельствует о наличии разных генераций кальцита в раковинах, образовавшихся на различных стадиях литогенеза.

Водоросли

Фрагменты неламинарированных матов синезеленых водорослей встречаются часто, и в объеме фосфатных зерен Северо-Африканского ближневосточного фосфоритоносного бассейна составляют не менее 50–60 % всех диагностированных структур [1]. Результаты изучения в СЭМ показали, что зерна рассмотренных фосфоритов оказались фрагментами фосфатизированных микробиальных матов. Последние могут слагать отдельные зерна, представленные фосфатизированными водорослями. Фосфатные фрагменты макро- и микроскелетов водорослей достаточно распространены в фосфоритах района Кусейр – Сафага и являются почти обязательным элементом как в составе микробиальных матов, так и в межзерновом пространстве.

В некоторых образцах фосфоритов распространена система переплетенных, пустых полостей, придающих породе червеобразную или трубчатую текстуру с диаметром отверстий до 6 мкм (рис. 6, а, б). Водоросли колониальные, диаметр их скоп-

лений достигает 200 мкм, длина отдельной водоросли может достигать 60 мкм, толщина трубки – 1 мкм. Частично, а иногда полностью полости водорослей выполнены фосфатными минералами. Отмечаются сломанные фрагменты водорослей, что отражает активный гидродинамический режим (рис. 6, в).

Неоднократно наблюдались водоросли с хаотичной нитчатой структурой, в порах которой развит микрозернистый шаровидный фосфорит (рис. 6, г, д). Различные фрагменты водорослей достаточно часто имеют первичную структуру. Она представлена полыми стебельками диатомов (рис. 6, е), которые иногда заполняются кальцитом (рис. 6, ж), или колониями растений (рис. 6, з).

Фораминиферы

Одной из хорошо диагностируемых палеонтологических групп в фосфатоносных породах свиты Дауи являются фораминиферы. Ряд исследователей [14, 15] ранее показали наличие планктонных зерен фораминифер в некоторых типах фосфоритов Североафриканского осадочного бассейна.

Сравнительный анализ количества остатков фораминифер из фосфатных пород свиты Дауи показал, что вертикальное распределение раковин достаточно неравномерное. В фосфатоносных слоях нижней части свиты фрагменты и полные фоссилии фораминифер наблюдаются в небольшом количестве (< 7 %). Раковины фораминифер сложены микрокристаллическом кальцитом, иногда замещенным фосфатом и реже кварцем. В верхней части свиты Дауи, в районе побережья Красного моря, количество и разнообразие форм раковин фораминифер увеличивается. Размер их иногда превышает 1 мм. Стенки раковин фораминифер состоят из кальцита, а иногда из фосфорита (рис. 7, а). Полости раковин выполнены макрокристаллическим кальцитом, в отдельных случаях раковины фораминифер полностью фосфатизированы (рис. 7, б). Изредка отмечаются постседиментационные частичные деформации на наружной стенке раковин, хотя их первичные структуры хорошо сохраняются. В некоторых сложных пеллетах присутствуют частично фосфатизированные раковины фораминифер, образующиеся в результате перераспределения фосфора при постседиментационных процессах.

Заключение

Фосфориты района Кусейр – Сафага состоят преимущественно из копролитовых зерен, пеллет, фрагментов костей и зубов, остатков устричных

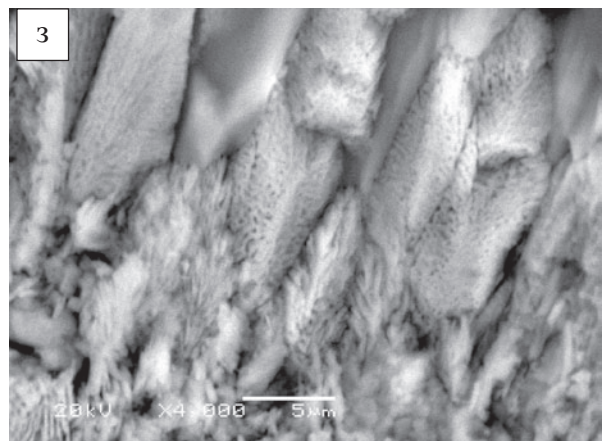
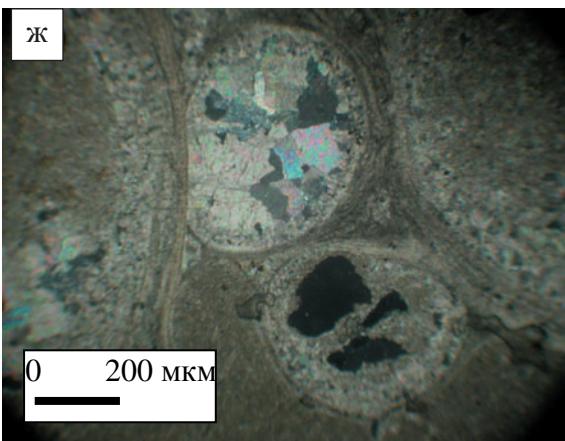
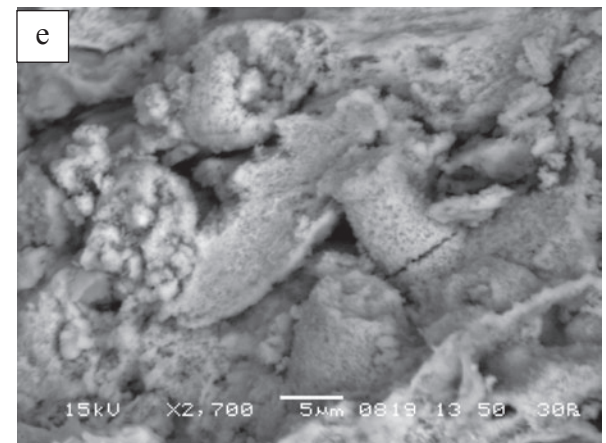
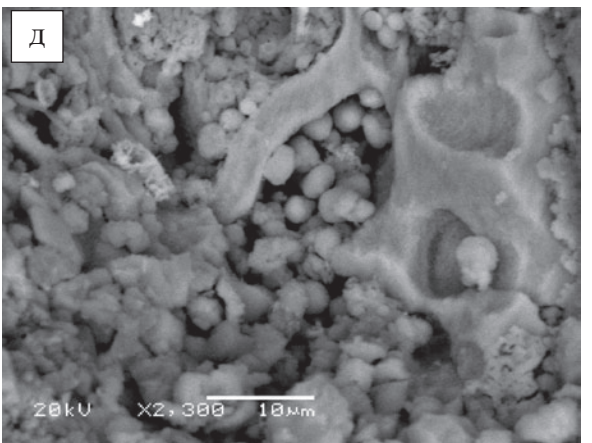
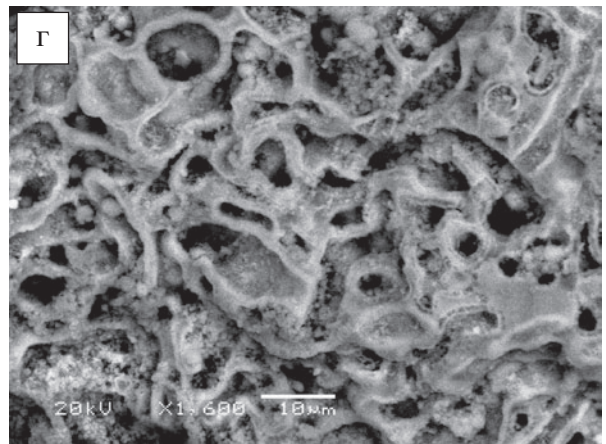
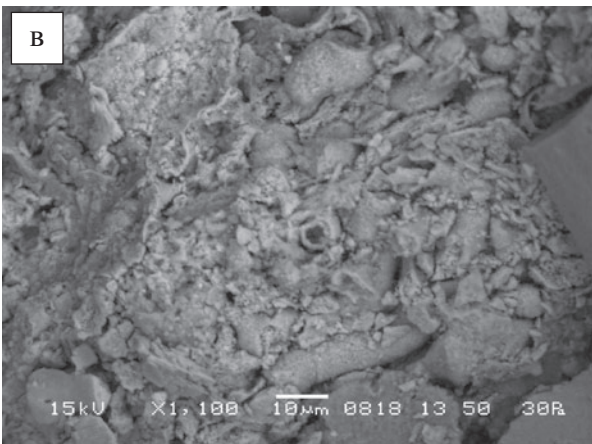
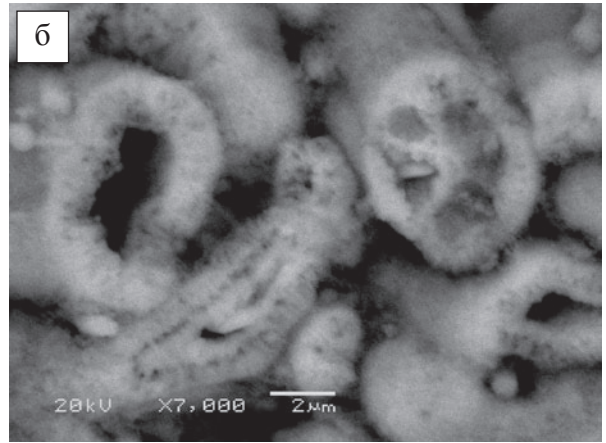
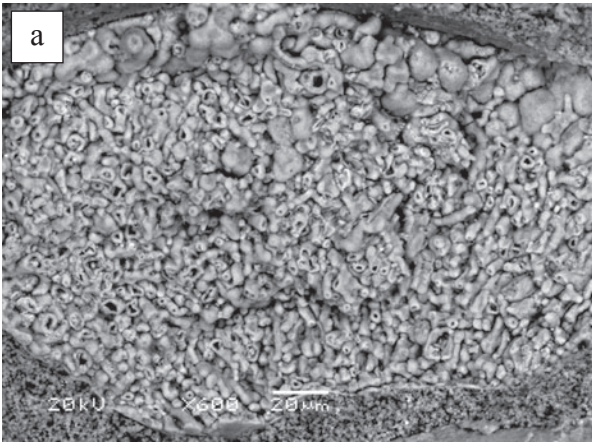


Рис. 6. Электронно-микроскопические снимки фосфоритов: а – фосфатное зерно биологического мата переплетенной системы, сложено колонией водорослей с червеобразными или трубчатыми структурами; б – то же, большее увеличение; в – фосфатные участки микробактериального мата с разрушенными остатками водорослей; г – фосфатное зерно-фрагмент фосфоритизированных водорослей; д – фосфатное зерно-фрагмент водорослей, характеризуется многими порами, выполненными шаровидными образованиями кремнезема; е – фосфатные зерна биологического мата, сложены полыми стеблями водорослей; ж – округлые биологические остатки (диатомовые водоросли), полностью выполненные кальцитом разных стадий кристаллизации. Также внутри остатков присутствуют фосфатные пеллеты; з – фосфатная колония водорослей с первичной структурой

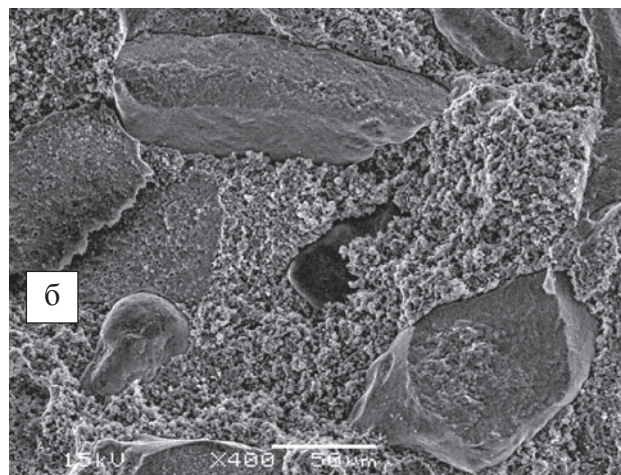
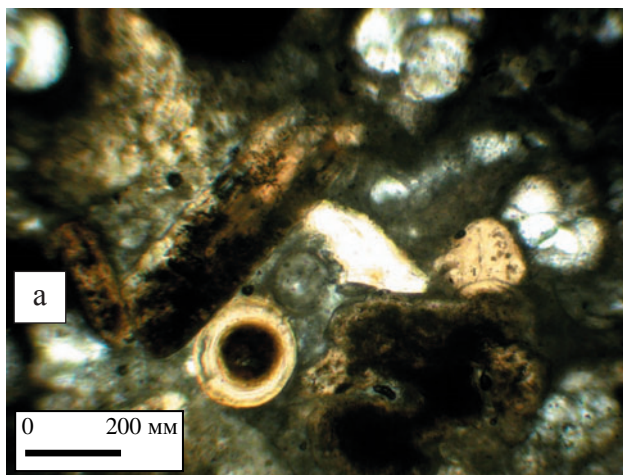


Рис. 7. Раковины фораминифер в некоторых образцах фосфорита: а – различные раковины фораминифер, выполненные кальцитом. Фосфатные зерна предоставлены также пеллетами, костными остатками и округлыми губками. Шлиф, николи II; б – фосфатные зерна и фосфатизированное зерно фораминиферы в глинистом матриксе. Электронно-микроскопический снимок

раковин, водорослей и фораминифер. Такое разнообразие органических остатков свидетельствует о высокой биологической активности в ходе образования фосфоритов. Вероятно, часть органического вещества в результате диагенеза сформировала цемент фосфоритов, тогда как большинство зерен биогенного апатита осталось неизменным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Северо-Африканский-Ближневосточный фосфоритоносный бассейн (СБФБ) / Э. Л. Школьник [и др.] // Природа фосфатных зерен и фосфоритов крупнейших бассейнов мира. – Владивосток : Дальнаука, 1999. – С. 56–64.
2. Glenn C. R. Pore water, petrologic and stable carbon isotopic data bearing on the origin of Modern Peru margin phosphorites and associated authigenic phases / C. R. Glenn // Burnett W. C. Phosphate Deposits of the World, Neogene to Modern Phosphorites / W. C. Burnett [et al.]. – Camb. : CUP, 1990. – V. 3. – P. 47–61.
3. Pore water fluoride in Peru continental margin sediments: uptake from seawater / P. N. Froelich [et al.] // Geochim. Cosmochim. – 1983. – № 47. – P. 1605–1612.

4. The present day formation of apatite in Mexican continental margin sediments / R. A. Jahnke [et al.] // Geochim. Cosmochim. – 1983. – № 47. – P. 259–266.
5. Sharafeldine A. A. Some geological aspects of the Egyptian phosphorites: Ph. D. Thesis. Ain Shams Univ. / A. A. Sharafeldine. – Egypt, 1999. – 293 s.
6. Батурич Г. Н. Фосфориты на дне океанов / Г. Н. Батурич. – М. : Наука, 1978. – 231 с.
7. Сенин Ю. М. Фосфор в донных осадках шельфа Юго-Западной Африки / Ю. М. Сенин // Литология и полезные ископаемые. – 1970. – № 1. – С. 11–26.
8. Philobos E. R. Paleocurrents in phosphorites: A possible petrographic tool / E. R. Philobos, E. K. Makak // Bull. Fac. Sci., Assiut Univ. – Egypt, 1989. – № 18 (2-f). – P. 55–76.
9. Soliman S. M. Petrology of the phosphorite deposits, Qusseir area, Egypt / S. M. Soliman, K. M. Amer // Arab. Miner. Pet Assoc. Trans. Cairo. – Egypt, 1972. – V. 27. – № 1. – P. 19–48.
10. Ascenzi A. Bone-boring marine microorganisms: an experimental investigation / A. Ascenzi, G. Silvestrini // J. Human Evol. – 1984. – V. 7. – P. 409–420.
11. Bell L. S. Diagenetic alteration to teeth in situ illustrated by backscattered electron imaging / L. S. Bell, A. Boyde, S. J. Jones // Scanning. – 1991. – V. 13. – P. 173–199.

12. *Grube G.* Impact of microbial activity on trace element concentration in excavated bones / G. Grube, H. Piepenbrink // *Appl. Geochem.* – 1989. – V. 4. – P. 293–298.

13. *Piepenbrink H.* Examples of chemical changes during fossilization / H. Piepenbrink // *Appl. Geochem.* – 1989. – V. 4. – P. 273–280.

14. *Chabon-Mostefal S.* The Paleocene-Eocene phosphate deposits of Djebel Onk, Algeria / S. Chabon-Mostefal, R. Flicoteaux // *Phosphate deposits of the world.* – Cambr. : CUP, 1988. – V. 2. – P. 189–294.

15. *Prevot L.* Geochemistry, petrography, genesis of Cretaceous-Eocene phosphorites, the canntour deposit (Morocco): a type example / L. Prevot // *Men. Soc. Geo.* – 1990. – № 158. – P. 232.

Рецензент А. Д. Савко

Воронежский государственный университет

М. В. Абдель Мухни, аспирант кафедры исторической геологии и палеонтологии

Тел. 8-951-861-58-15

m_wageeh@yahoo.com

mwageeh1@gmail.com

Voronezh State University

M. W. Abd el-Moghny, student Ph.D. in the Department of Historical Geology and Paleontology, faculty of geology

Tel. 8-951-861-58-15

m_wageeh@yahoo.com

mwageeh1@gmail.com

С. М. Пилюгин, старший преподаватель кафедры полезных ископаемых

Тел. 8 (4732) 208-626

geoscience@yandex.ru

S. M. Pilugin, Senior lecturer, Chair of Mineral deposits

Tel. 8 (4732) 208-626

geoscience@yandex.ru