

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОСФОРИТОВ ЕГИПТА

М. В. Абдель Мугхни

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 25 сентября 2009 г.

Аннотация. В центральной части Египта известны три эксплуатируемых месторождения фосфоритов: Кусейр-Савага (район Красного моря), Себаиа (район долины Нила) и Абу Тартур (Западная пустыня).

Фосфатные отложения рассматриваемых трёх месторождений отличаются друг от друга различными условиями образования. Аналитические данные показывают хорошую корреляцию следующих окислов и отдельных элементов P_2O_5 , CaO, CO_2 , F, U и Sr, которые входят в состав фосфатных минералов. В отдельных случаях в фосфатных минералах Ca замещается Na. Между Na_2O и P_2O_5 устанавливается слабая корреляция. В изученных фосфатных образцах некоторые элементы (Si, Al, K, Fe) отрицательно коррелируются с фосфором, что может указывать на их связь с глинистыми минералами и присутствие свободного кварца.

Содержание различных элементов в фосфоритах определяется количеством осаждаемого полезного компонента, наличием терригенной примеси и перераспределением его при диагенезе и эпигенезе.

Ключевые слова: Дауи, фосфорит, геохимия, Себаиа, Кусейр, Абу Тартур.

Abstract. The economic phosphorite represents in the central part of Egypt in three localities, from east to west : Kusseir-Safaga (Red Sea), Sibaya (Nile Valley) and Abu Tartur (Western Desert). Partially, the deposits of the Duwi Formation are different from each other. Phosphorites of different localities have positive correlations with CaO, CO_2 , F, U and Sr to indicate that, these elements are exist in the crystal structures of phosphatic minerals, while another elements such as Si, Al, Fe and K are related to clay minerals (glauconite, montmorillonite and kaolinite). Elemental contents in the phosphatic rocks related to epigenesis and diagenesis minerals with great role of influence of the weathering process in the concentration degree of diagenetic minerals.

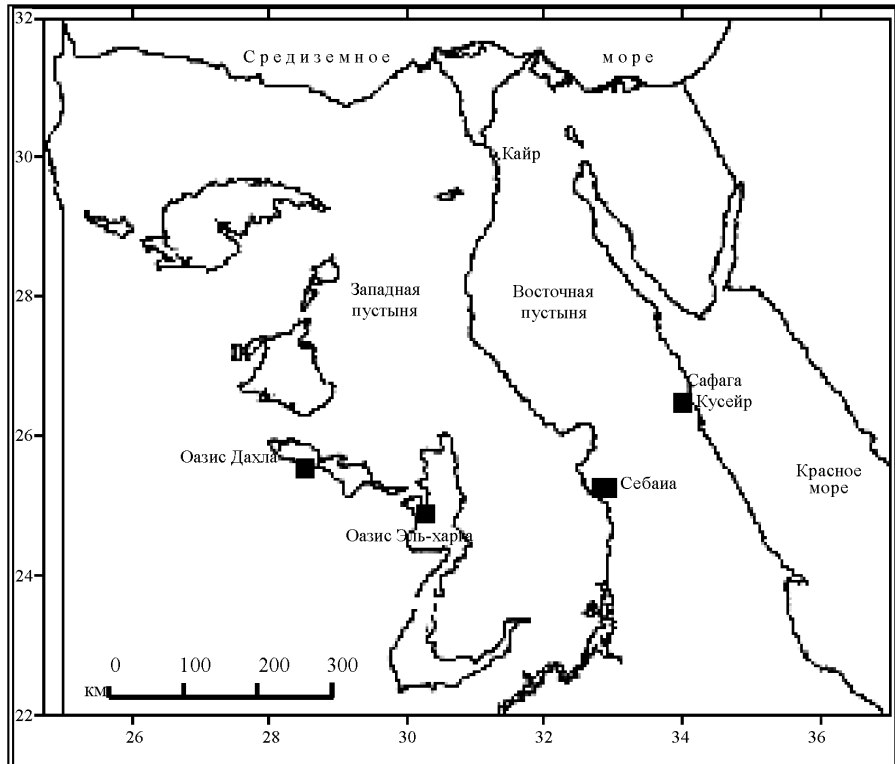
Key words: Duwi, phosphate, geochemistry, Sibaya, Kusseir, Abu Tartur

Фосфатные отложения являются широко распространенными для территории Египта. Они приурочены к отложениям кампан-маастрихтского яруса. Экономически рентабельные фосфориты присутствуют в центральной части страны в трех месторождениях с востока на запад: Кусейр-Савага (район Красного моря), Себаиа (район долины Нила) и центральная часть Западной пустыни (оазисы Дахла и Эльхарга (Абу Тартур) (рис. 1).

Хотя фосфатные отложения в трех месторождениях относятся к породам свиты Дауи (кампанский и маастрихтский ярусы), они нередко отличны друг от друга, (рис. 2), и каждое месторождение характеризуется особыми условиями накопления и диагенеза.

В состав свиты Дауи фосфоритового месторождения Кусейр-Сафата входят устричный известняк большой мощности (30 м), доломит, битуминозные сланцы, кремнистые породы и иногда песчаник. Мощность свиты превышает 60 м, и толщина экономического слоя фосфоритов достигает лишь 1,7 м, редко превышая 2,0 м. В целом число фосфатных слоев, отмеченных в районе, достигает 11. Фосфатные слои с высоким содержанием P_2O_5 приурочены к верхней части толщ, объем запасов которой колеблется в пределах 200–250 млн т. по [1].

В месторождении Себаиа (долина Нила) фосфоритоносные отложения прослеживаются в обнажениях от Вади-Кены на севере до Идву на юге по обе стороны долины Нила. В этом месторождении, как и в месторождении Красного моря, свита Дауи разделяется на три части. В состав



■ Исследованная область

Рис. 1. Схема расположения фосфоритовых месторождений Египта

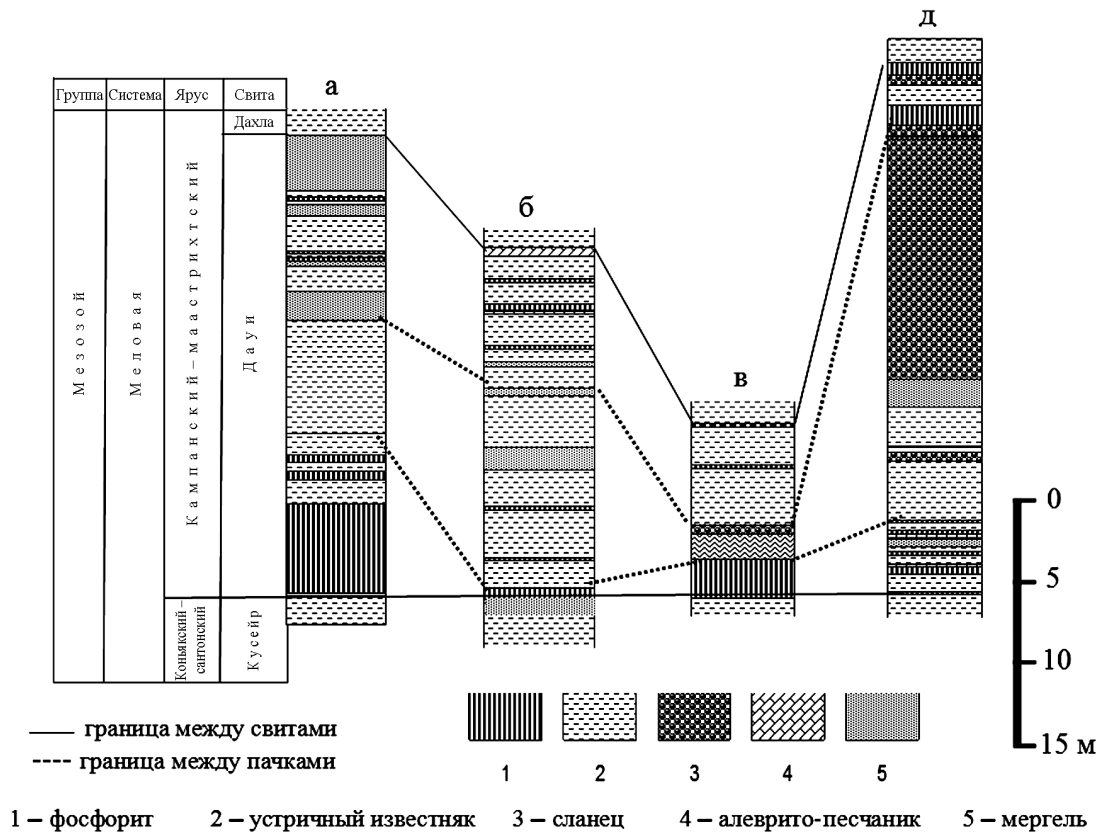


Рис. 2. Сопоставительные разрезы фосфоритовых месторождений Египта:
 а – Абу Тартур; б – Оазис Дахла; в – Себаиа (долина Нила); д – Кусейр (Красное море)

свиты Дауи района Себаиа (долина Нила) входят фосфориты (3 слоя), устричный известняк (менее 3 м), кремнистые породы и песчаные сланцы. Мощность свиты Дауи колеблется от 25 до 40 м, а промышленных фосфатных слоев достигает 3 м, как, например, в нижней части района Махамида. Ранее добыча фосфоритов велась из двух верхних частей, мощности которых не превышали 1 м, но в настоящее время при помощи современных технологий добыча фосфоритов производится из нижней части разреза, мощность слоев фосфоритов которой может достигать 3,0 м. Благодаря этому резерв фосфатной руды заметно превышает ранее оценивавшийся в 237 млн т. [1].

В настоящее время самое важное месторождение фосфоритов Абу Тартур находится в центральной части Западной пустыни, включающей оазисы Дахла и Эль Харга. В состав свиты Дауи входят фосфорит, глауконитсодержащие алевритовые и песчаные отложения. Толща фосфоритоносных отложений колеблется в пределах 15–30 м. Мощность фосфатных слоев в Абу Тартур достигает 6 м, а в оазисе Дахла колеблется от 0,2 до 1,4 м. В Западной пустыне фосфатные породы классифицируются на неокисленные и окисленные фосфориты. Вторые из них затронуты процессами выветривания с переводом железа из двухвалентной в трехвалентную форму.

Общее количество фосфатных руд превышает 990 млн т, по [2], среди которых имеются неокисленные и окисленные разности. Число фосфатных слоев, отмечающихся в районе Абу Тартур, составляет 3 слоя. Чаще всего нижний слой является наиболее важным в экономическом отношении благодаря его большой мощности и высокому количеству P_2O_5 (19,5–30,5 %), (рис. 3).

Важным методом при изучении условий осадконакопления является интерпретация химических характеристик пород, а именно pH, Eh, температура и т. д., которая наряду с петрографическими данными, хотя и не в полной мере, отражает также и постседиментационные изменения.

Большинство исследователей фосфоритоносных отложений Египта изучали химические характеристики этих отложений с целью установления их особенностей локально, на отдельных месторождениях. В данной работе акцент делается на сравнении полученных ими показателей по различным участкам с целью выявления изменений в условиях осадконакопления фосфоритоносных отложений латерально.

Фосфат (P_2O_5). Сравнение данных по распределению концентраций P_2O_5 в фосфатоносных отложениях рассматриваемых месторождений (табл. [1], рис. [4]) показало, что содержание его в месторождении Кусейр колеблется в пределах 21–36 % и в среднем составляет 26,81 %. Для большей части обработанных образцов количество P_2O_5 варьирует от 27 до 32 %. Содержания P_2O_5 , составляющие менее 21 %, также характерны для фосфатоносных пород района. Например, к подобным могут быть отнесены фосфатные песчаники и устричные кремнистые фосфатные известняки. При этом первые из названных приурочены к нижним частям разрезов, вторые к их средним частям и характеризуются большей мощностью (>20 м). Наиболее высокие концентрации P_2O_5 отмечаются в верхних частях разрезов, где толща фосфатных пород достигает 1,7 м.

Фосфатные породы на месторождении Себаиа (долина Нила) характеризуются содержанием

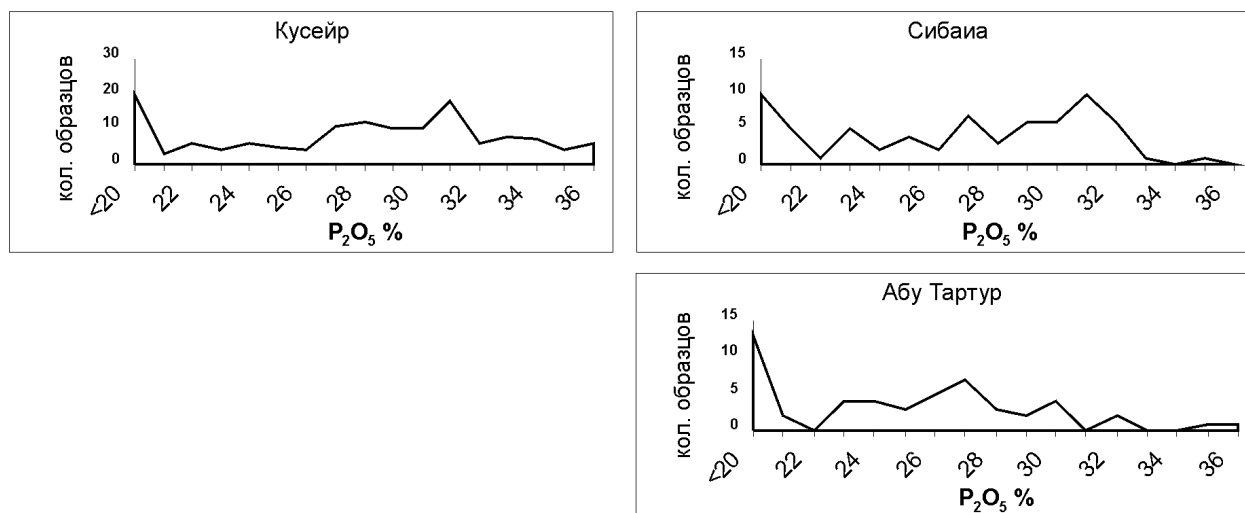


Рис. 3. Распределение содержаний P_2O_5 в фосфоритовых месторождениях Египта

Распределение оксидов в фосфоритовых месторождениях Египта

Район Компоненты	Красное море			Долина Нила			Абу Тартур					
							Окисленные фосфориты			Неокисленные фосфориты		
	от	до	сред.	от	до	сред.	от	до	сред.	от	до	сред.
P_2O_5	35.52	8.2	26.8	34.53	8.9	25.93	19.7	10.7	16.24	36.81	5.12	25.1
CaO	53.5	20.8	42.51	54	15.8	41.8	46.2	33.4	38.47	46	18.02	40.42
MgO	5.24	0	1.23	2.57	0	0.6	12.12	1.8	5.53	9.28	0.48	2.77
SiO_2	34.3	0.72	8.42	42.71	1	12.52	11.6	8.2	10.12	9.8	1.7	5.14
Al_2O_3	13.4	0	1.8	12.84	0.05	1.46	4.7	1.4	3.33	5	0.43	1.47
Fe_2O_3	11.72	0	2.71	4.7	0.5	2.2	7.8	2.6	5	8.03	1.4	3.65
Na_2O	4.9	0.04	1.42	1.95	0.08	1.05	1.7	0.2	0.96	1.07	0.18	0.66
K_2O	2.65	0.02	0.4	1.8	0.01	0.13	0.6	0.1	0.23	1.48	0.02	0.14
F	3.1	0.7	2.53	3.5	0.02	1.98	–	–	2.27	–	–	2
CO_2	16.37	5.16	12.1	20.2	3.6	10.02	–	–	6	12.1	1.1	5.04

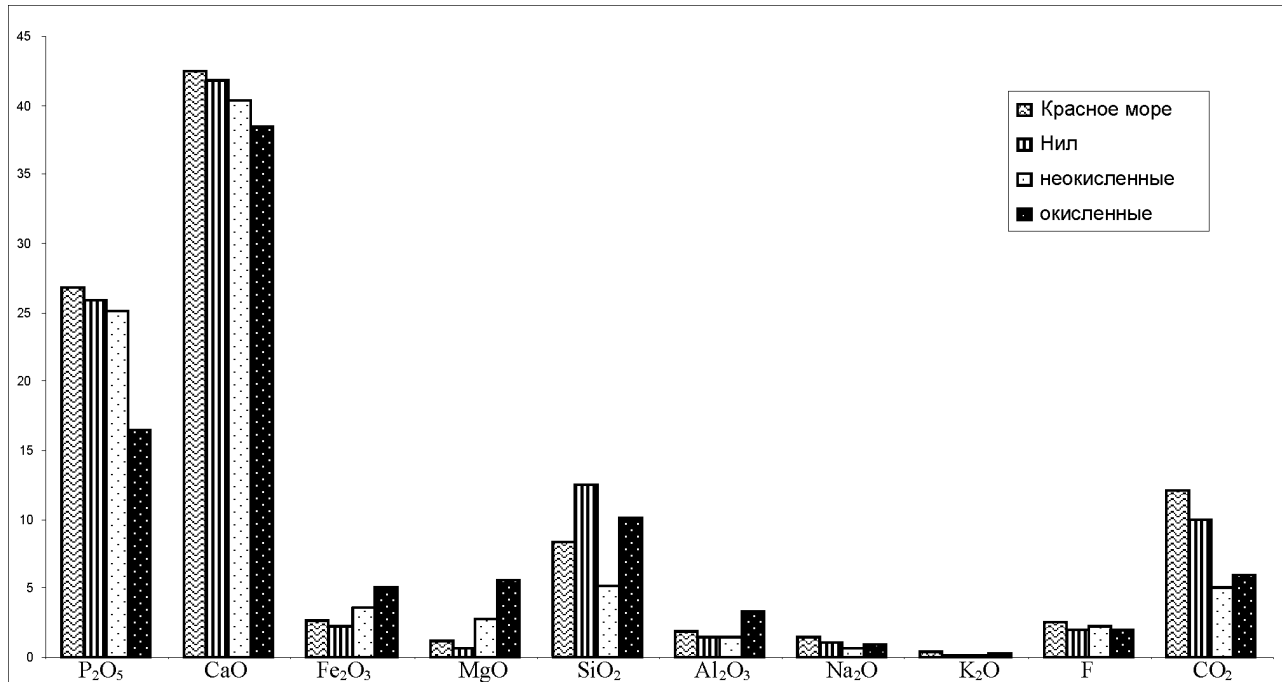


Рис. 4. Графики распределения содержаний оксидов в фосфоритовых месторождениях Египта

P_2O_5 21–33 %. При этом для большей части рассмотренных образцов концентрация P_2O_5 варьирует в пределах 27–32 %, за редким исключением достигая более 32 %. Так же как и для месторождения «Красное море», здесь отмечается наличие устричного кремнистого фосфатного известняка, мощность которого не превышает 5 м и среднее содержание P_2O_5 в нем менее 23 %.

При анализе фосфатных пород месторождения Западной пустыни был выявлен достаточно большой разброс относительно значений содержания P_2O_5 , который составил 15–32 %, при среднем значении 21 %. В различных районах этого месторождения фосфатные породы представлены как неокисленными (95 % фосфатных запасов), так и окисленными (5 % фосфатных запасов) разностями. Для неокисленного фосфата концентрации P_2O_5 могут достигать 32 %, в среднем составляя 25,778 %, а для окисленного – 16–24 %.

Возможно, невысокие содержания P_2O_5 в окисленных породах обусловлены некоторым выносом этого оксида. J. Тгарре [3] указывает, что палеогеография и эвстатика морского уровня во многом определяют принципиальные различия в генетике путей фосфатогенеза, которые во многом контролируют степень концентрации фосфата (фосфатных частиц?) в гранулированных фосфоритах, а именно, процессами выветривания, привносом воды, обуславливающим растворение, миграцию и выщелачивание, а также тектоникой, действующей через рельеф. Концентрации фосфоритов связаны с конседиментационными поднятиями во время формирования отложений свиты Дауи.

В осадочном апатите замена $[PO_4]$ карбонатом $[CO_3]$ может достигать нескольких процентов. Сульфаты могут также заменять фосфат. В морской и речной водах концентрация фосфора контролируется очень низкой растворимостью апатита, которая увеличивается при наличии таких элементов (примесей), как CO_2 [4].

Щелочные земли (СаО и MgO). Важным компонентом, наряду с P_2O_5 , входящим в состав фосфоритов, является кальций, присутствующий в кристаллической решетке всех фосфатных минералов. Содержание СаО в исследованных фосфоритах колеблется в широком диапазоне: от 19,8 до 53,5 %. Средние концентрации СаО в фосфатных породах района Абу Тартур составляют 38,44 и 40,42 % в окисленных и неокисленных фосфатных образцах соответственно. Изучение петрографического состава фосфоритов различных месторождений в шлифах и СЭМ показало, что большие

концентрации СаО в образцах обусловлены присутствием в них макрокристаллического кальцита (в форме цемента), франколита, доломита и в значительных количествах гипса и ангидрита. В фосфатных породах района Себаиа СаО присутствует в составе кальцита и гипса, а в фосфоритах других месторождений он связан с кальцитом, доломитом, гипсом и ангидритом.

Химические анализы фосфоритов разных месторождений обнаруживают присутствие MgO в составе от 0 до 12,12 % в окисленных фосфоритах и в среднем составляет 2,77 % в неокисленных фосфатных образцах. Различия в содержаниях MgO в фосфатных отложениях района Абу Тартур, которые составляют 2,77 и 5,53 % в неокисленных и окисленных фосфоритах соответственно, связаны с доломитом. Повышенное содержание MgO (5,53 %) в окисленных фосфатных породах, возможно, связано с аридизацией климата.

Фосфатные отложения Красного моря содержат MgO 1,23 %. В результате петрографических исследований в фосфоритах были обнаружены диагенетические кристаллы доломита, погруженные в кремнистый матрикс. Количество MgO связано с доломитом и иногда с глинистыми минералами, в первую очередь с глауконитом.

Изученные фосфатные образцы района долины Нила характеризуются содержаниями MgO от 0 до 2,57 %, в среднем составляющими 0,6 %. Меньшие концентрации в них могут быть обусловлены присутствием массивных кремнистых сланцев, непосредственно приуроченных к фосфоритоносным отложениям. В процессах эпигенеза, в результате слабой миграции MgO по направлению от залегающих сверху глинистых пород к фосфоритам для данных отложений естественны малые концентрации эпигенического доломита, а следовательно, и MgO, в целом же петрографические и электронно-микроскопические исследования фосфоритов показали, что концентрации MgO обусловлены присутствием в фосфатном разрезе доломита.

Щелочи (Na₂O и K₂O). В кристаллических решетках апатита Са может замещаться на натрий, магний и стронций [5]. Наибольшие концентрации Na₂O отмечаются в фосфоритах Кусейр (Красного моря) (от 0,04 до 4,9 %, в среднем составляют 1,42 %) по сравнению с количеством этого оксида в фосфоритах других районов. СЭМ исследования фосфоритов Кусейр побережья Красного моря показали, что Na₂O представлен пятнами галита, который формируется в результате испарительного процесса и является минералом-индикатором ус-

ловий аридного климата. Реже натрия присутствует в составе фосфатных минералов как результат замещения кальция.

Калий входит в состав иллита и глауконита. В рассмотренных фосфоритах содержание этого элемента колеблется от 0,02 до 2,65 %. Для фосфоритов Западной пустыни эти концентрации несколько больше, чем для подобных им разностей других месторождений, что подтверждается петрографическими и минералогическими данными, подтверждающими значительные содержания глауконита.

Железо (Fe_2O_3). В рассмотренных фосфатных породах железо входит в состав гематита, гетита и пирита. Данные минералы в значительных количествах присутствуют в изучаемых отложениях. Они сложены преимущественно разномысленным веществом и характеризуются способностью к окрашиванию. Железо также может быть связано с различными глинистыми минералами, его сорбирующими. В исследованных фосфоритах Кусейр концентрации Fe_2O_3 варьируют в широких пределах: от 0 до 11,72 % и в среднем составляют 2,71 %.

Фосфатные породы района Абу Тартур характеризуются большим содержанием Fe_2O_3 , которое в среднем составляет 5 и 3,65 % для окисленных и неокисленных фосфоритов соответственно. Окисление происходило при выветривании, что сопровождалось увеличением количества этого оксида.

Петрографическое изучение фосфоритов района Абу Тартур показало, что количество пирита увеличивается в неокисленных фосфоритах, а количество красящих пигментов гематита больше в окисленных, согласно [6]. Изменение окраски фосфоритов от темно-черной до желто-бурой обусловлено разложением пирита и переходом его в гипс и гематит в окисленных фосфоритах под действием процессов выветривания.

В соответствии с мнением [7], в результате окисления пирита при невысокой температуре образуются: 1) $FeSO_4$ и $Fe_2(SO_4)_2$; 2) FeO или Fe_2O_3 . Также возможно, что Fe_2O_3 формируется при разложении сульфатов железа. Существует определенная зависимость между содержаниями P_2O_5 и Fe_2O_3 , которая отмечается [8], предполагающим, что Fe_2O_3 , представленный в виде зернистых агрегатов или красящих пигментов, может быть образован при реакции P_2O_5 и скрытокристаллических водных окислов железа в морской воде.

Содержание Fe_2O_3 в фосфоритах Кусейр составляет 2,2 и 2,7 % соответственно. Fe_2O_3 представлен темно-красными, до коричневой гематитовыми разностями, частицами, покрывающими другие

фосфоритные компоненты и приурочены к выходам выветренных пород.

I. Rifai и N. Shaaban [9] отметили, что высокое содержание железа и магния при относительно низком уровне в широком диапазоне значений δO^{18} (0,87 до 4,15 ‰ VpDB) и истощенном Sr (187 ± 26 PPM) обуславливают формирование доломита и смешанных гипсолевых жидкостей в перемешанной морской метеорной зоне, вероятно, во время низкого стенда (регрессии) времени маастрихта-раннего третичного несогласия.

H. Vaïoumy [6] доказал, что в египетских фосфоритах не существует генетического родства между железом и фосфором. Железо в них может быть представлено либо сорбировано глинистыми минералами, либо в диагенетической, как в анкерите и пирите. Пирит в этом случае является основным минералом и в виде цемента заполняет поры в породе, а иногда и полностью замещает фосфатные зерна.

Фторид (F). В целом, химические анализы фосфоритов показали, что они состоят преимущественно из водного трехкальциевого фосфата, некоторого количества фторидов и карбоната кальция ($CaCO_3$). В строении фторапатита присутствует фтор, который иногда замещается различными элементами, например хлором и гидроксидом.

В фосфоритах Египта содержание фтора колеблется от 0,02 до 3,5 % и в среднем составляет 2,53, 1,98 и 2,4 % для фосфатных отложений на месторождениях Красного моря, Себаиа и Абу Тартур соответственно.

Концентрации фтора в фосфоритоносных породах связаны с содержанием фосфатных минералов, особенно фторапатита и карбонат-фторапатита. При этом характерно, что последний из них зачастую является цементом для остальных фосфатных компонентов.

Высокие содержания F, CO_2 и SO_3 в рассмотренных фосфатных породах по сравнению с их содержаниями в исходном апатите и негативные значения δC_{13} и δO_{18} в структуре CO_2 показывают, что диагенез играет важную роль в изменении химического состава фосфатных зерен. При этом исследованный апатит был франколитизирован в этом процессе.

Кремнезем и глинозем. Их содержания зависят от количества терригенных минералов, в изученных фосфоритах различных месторождений. Концентрации SiO_2 неравномерны и широко варьируют от 1 до 42,77 %. Наибольшие концентрации SiO_2 отмечаются в фосфатных отложениях месторождения

Себаиа (долина Нила) и приурочены к массивным кремнистым фосфоритам, широко распространенным в этом районе. Здесь, по результатам петрографических исследований, среднее содержание SiO_2 составляет 12,52 %. Среди месторождений Египта это самое высокое значение средней концентрации по фосфоритам. Изучение шлифов по данным отложениям показало, что в составе пород присутствуют терригенные кварцевые зерна (2–15 %) в скрытокристаллическом и мелкокристаллическом кварцевом цементе. Таким образом, можно констатировать, что связь SiO_2 в районе долины Нила осуществляется путем формирования матрикса одновременно с процессом накопления фосфатных компонентов и изредка в постседиментационный период при образовании цемента.

В изученных фосфоритах месторождения Кусейр содержание SiO_2 составляет от 0,72 до 34,3 %, а в среднем 8,42 %. Для Al_2O_3 концентрации на данном участке колеблются от 0 до 13,4 % при среднем содержании 1,8 %. Данные петрографического изучения и СЭМ показали, что в составе отложений данного месторождения, а именно, в фосфатных породах нижних частей разреза присутствуют мелко- и среднезернистые кварцевые зерна. Глинистые минералы изучаемого участка представлены каолинитом пластинчатого строения, что может свидетельствовать о зависимости содержания кремнистых и глиноземистых компонентов фосфатных пород Красного моря от количества терригенных кварцевых и глинистых минералов.

Сравнение окисленных и неокисленных фосфоритов района Абу Тартур путем петрографических исследований показало, что матрикс данных отложений представлен глауконитом и скрытокристаллическим коллофаном, а концентрации SiO_2 и Al_2O_3 преимущественно обусловлены наличием в составе пород глауконита.

Тяжёлые минералы отложений долины Нила представлены гематитом, гранатом и апатитом, от содержания которых в некоторых случаях также могут зависеть концентрации SiO_2 и Al_2O_3 .

Углекислота (CO_2). входит в состав карбонатов и иногда замещает PO_4 в апатите. Если в осадочных фосфоритах концентрации фтора более 1 % и имеется значительное содержание CO_2 , то основным минералом фосфоритов является франколит. В нем часть PO_4^{-3} замещается на CO_3^{-2} , что сбалансировано дополнениями ионного замещения.

Содержание CO_2 в фосфоритах Египта колеблется в широком диапазоне – от 1,1 до 20,2 %.

В фосфоритах разных месторождений концентрации CO_2 в среднем составляют 12,1 и 10,02 для фосфоритов районов Красного моря и долины Нила соответственно. Но в фосфоритах района Абу Тартур концентрации CO_2 составляют 5,04 и 6 % для неокисленных и окисленных фосфоритов соответственно.

Петрографическое и минералогическое изучение рассмотренных фосфоритов показали, что CO_2 связан с присутствием в составе его карбонатных минералов (кальците и доломите) и франколите. Франколит и кальцит в больших количествах наблюдаются в фосфоритах районов Красного моря и долины Нила. Т. Rooney, и Р. Kerr [10] доказали, что нахождение CO_2 в фосфоритах может быть: 1) в составе аморфного кальцита в незначительном количестве; 2) в карбонатных или бикарбонатных ионах сорбированных на поверхности кристаллов апатита; 3) в замещённых PO_4 позициях в решётке апатита.

Содержание CO_2 в фосфоритах может отражать условия формирования и диагенеза фосфоритов. R. Gulbrandsen [11] считает, что увеличение концентрации CO_2 связано с высокой температурой. G. Birch [12] предположил, что высокие содержания CO_2 в фосфоритах связаны с развитием их по карбонатным породам (наследование). При формировании аутигенных фосфоритов концентрации CO_2 понижены. Концентрация CO_2 зависит от вариации pH, температуры, солёности и глубины формирования пород [13]. F. Abu El Enain и другие [14] отмечают, что высокие концентрации CO_2 в изученных фосфоритах, возможно, связаны с замещением карбонатами вмещающих пород (кальцит и доломит).

Исходя из данных по изучению фосфоритов Египта хорошо коррелируются между собой P_2O_5 , CaO, F, NaO, SO_3 , U и Sr. P_2O_5 дает умеренно положительную корреляцию ($r = 0,27, 0,3$ и $0,42$) с CaO в фосфоритах района Кусейр, Себаиа и Абу Тартур и отражает собой тот факт, что содержание кальция обуславливается не только апатитом, но и различными карбонатными минералами, в том числе кальцитом и доломитом. Первый представлен в виде цемента и остатков микроорганизмов, например фораминифер, а второй – различного размера кристаллами.

Высокое положительное соотношение между P_2O_5 , F и U объясняет связь этих элементов с фосфатными минералами. Иногда F замещается на Cl, а U и другие элементы замещают кальций [15]. Слабая положительная корреляция между P_2O_5 и

Na₂O (r = 0,2) обуславливает связь натрия со слабофосфатными минералами, а основные концентрации натрия приурочены к отложениям галита и поверхностной пленке фосфатного пеллита. Na, как и U может частично замещать кальций и занимать его место в строении фосфатных минералов.

Увеличение концентрации натрия играет важную роль при замещении PO₄⁻³ на CO₃⁻². Дисбаланс заряда, образующийся при замене CO₃⁻² на PO₄⁻³, компенсируется за счет замены натрия на кальций и добавления F⁻ [16] и OH⁻ [17].

В изученных фосфатных образцах некоторые элементы (Si, Al, K, Fe) отрицательно коррелируются с фосфором, что может указывать на их связь с глинистыми минералами (глауконит, монтмориллонит, каолинит) и присутствие свободного осажденного кварца, согласно данным петрографическим и минералогическим исследованиям.

Магний, концентрации которого связаны с доломитом и гораздо меньше с глауконитом, имеет сильное значение отрицательной корреляции с фосфором. Фосфориты океана на континентальной периферии часто сложены микрокристаллическим

франколитом (15–20 % P₂O₅) с ассоциацией глауконита (X₂Y₄Z₈O₂₀(OH, F), где X₂ = (K, Na)_{1,2-2}, Y₄ = (Fe (III), Al, Fe (II), Mg, Mn и Z₈ = Si_{7-7,6}A_{11-0,4}) [18].

CO₂ имеет умеренную отрицательную корреляцию с фосфором, что свидетельствует напрямую о его связи с карбонатными минералами, кальцитом и доломитом. Также этот оксид может быть связан с франколитом, который является продуктом твердого растворения, его CO₃⁻² замещает PO₄⁻³ в строении апатита. Вообще процесс замещения колеблется от 4 до 7 wt % CO₂ [19], но также может превышать 8,9 wt % [20] и иногда достигать 16,1 % [21].

J. Barralet и другие [22] утверждают, что в структуре апатита CO₃⁻² может замещать PO₄⁻³ и/или OH⁻. Количество кальция и фосфора уменьшается при увеличении концентрации углерода и не зависит от температуры осадконакопления.

Таким образом, содержание различных элементов, и в первую очередь фосфора, в фосфоритах определяется количеством осаждаемого полезного компонента, наличием терригенной примеси, перераспределением его при диагенезе и эпигенезе, воздействием на породу процессов выветривания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Spanderashvilli G. I. The Egyptian phosphorites / G. I. Spanderashvilli, M. Mansour // Studies on Some Mineral Deposits of Egypt. – Egypt, 1970. – P. 89–106.
2. Germann K., Bock W. D. And Schroter T. Facies development of upper cretaceous phosphorites in Egypt / K. Germann, W. D. Bock And T. Schroter // Sedimental and geological aspects. – Berlin, Geowiss. Abh. 1984. – An. 50. – P. 345–361.
3. Trappe J. Phanerozoic phosphorite depositional systems. A dynamic model for resource system / J. Trappe // Lecture Notes in the Earth Science. – Springer, 1998. – V. 74. – 316 p.
4. Li YH. and Schoonmaker. Chemical Composition and Mineralogy of Marine Sediments / H. Li Y, and Schoonmaker // Sediments, Diagenesis, and Sedimentary Rocks (ed. F. T. Mackenzie) Treatise on geochemistry (eds. H. D. Holland and K. K. Turekian), Elsevier – Pergamon, Oxford, 2003. – Vol. 7. – P. 1–35.
5. Maurice E. Trucker. Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks / Trucker E. Maurice // III edition, Blackwell science durbam – England, Oxford OX2 0EL, UK0 2001. – 262 p.
6. Baioumy H. M. (2002): Forms of iron in the phosphorites of Abu-Tartur area Egypt / H. M. Baioumy // Chinese journal of geochemistry. – Vol. 21. – № 3. – P. 215–226.
7. Steger H. F. and Desjardins L. E. Oxidation of sulphide minerals, 4. Pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite / H. F. Steger and L. E. Desjardins // Chemical Geology, 1978. – V. 23. – № 4. – P. 225–237.
8. Berner R. A. Phosphate removal from sea water by adsorption on volcanogenic ferric oxides / A. R. Berner // Earth Plant. Sci. Lett. – № 18. – 1973. – P. 77–86.
9. Rifai I. Rifai, Mohamad N. Shaaban: Authigenic dolomite cementation in the Upper Cretaceous Phosphate Formation, Western Desert, Egypt / Rifai I. Rifai, Shaaban N. Mohamad // Sedimentary Geology. № 202. – 2007. – P. 702–709.
10. Rooney T. P. & Kerr P. E. Mineralogic nature and origin of phosphorite, Beaufort country, North Carolina / P. T. Rooney & E. P. Kerr // Geol. Soc. Am. – Bull. 78. – 1976. – P. 731–748.
11. Gulbrandsen R. A. Physical and chemical factors in the formation of marine apatite / A. R. Gulbrandsen // Econ. Geol., – 64, 1969. – P. 365–382.
12. Birch G. E. A modal of penecontemporaneous phosphatization by biogenesis and authigenic mechanism from the western margin of southern Africa / E. G. Birch // SEPM Spec. Publ. № 29. – 1980. – P. 79–100.

13. Cook P. J. Repeated diagenetic calcitization, phosphatization and silicification in the Phosphoria Formation / J. P. Cook // Geol. Soc. Am. – Bull., 81, 1970. – P. 2107–2116.

14. Abu El Enain F. M., A. Al-Afandy and D. El-Kholy. Mineralogy and geochemistry of Red Sea phosphates, Safaga – Quseir area / F. M. Abu El Enain, Al-Afandy A. and El-Kholy D. // Al-Azhar Bull. Sci. – V. 9. – № 2 (Dec.). – Egypt, 1998. – P. 793–808.

15. Pettijhon F. J. Sedimentary rocks / J. F. Pettijhon // CBS publishers & distributors. Delhi. India, 1984. – 628 p.

16. McClellan fnd Lehr. Crystal chemical investigation of natural apatite / McClellan fnd Lehr // Am. Mineral. 54, 1969. – P. 1374–1391.

17. McArthur (1990), Fluorine deficient apatite / McArthur // M. N. Mag. 54. – P. 508–510.

18. Deer W. A., Howie R. A. and Zussman J. An Introduction to the Rock Forming Minerals / A. W. Deer, A. R. Howie and J. Zussman // Wiley, New York, 1992. – 643 p.

19. Knudsen A. C. and Gunter M. E. Sedimentary phosphorites – an example: Phosphoria formation,

southeastern Idaho USA / C. A. Knudsen and E. M. Gunter // Reviews in Mineralogy: Phosphates – Geochemical, Geobiological, and Materials Importance (eds. M. J. Kohn, J. Rakovan, and J. M. Hughes). Mineralogical Society of America, Washington, DC. – V. 48. – 2002. – P. 361–389.

20. McArthur J. M. Systematic variations in the contents of Na, Sr, CO₂, and SO₄ in marine carbonate-fluorapatite and their relation to weathering / M. J. McArthur // Chem. Geol. – V. 21. – 1978. – P. 41–52.

21. Elderfield H., Holmefjord T. and Summerhayes C. P. Enhanced CO₂ substitution in carbonate-apatite from the Moroccan continental margin / H. Elderfield, T. Holmefjord, and P. C. Summerhayes // Inst. African Geol. Res. 16th Ann. Report (Univ. Leeds.). 1972. – P. 51–52.

22. Barralet J., Best S., Bohfield W. (1998): Carbonate substitution in precipitated hydroxyapatite: an investigation into the effects of reaction temperature and biocarbonate ion concentration / J. Barralet, S. Best, W. Bohfield // Journal of biochemical materials research. – V. 41 (1). – 1998. – P. 79–86.

*Воронежский государственный университет
М. В. Абдель Мухни, аспирант кафедры исторической геологии и палеонтологии факультета геологии*

Тел. 8-951-861-58-15

E-mail: 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

E-mail: m_wageeh@yahoo.com

mwageeh1@gmail.com