

Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
Научно-образовательный центр Геологического факультета

## **«Современное состояние наук о Земле»**



**Материалы международной конференции,  
посвящённой памяти**

**Виктора Ефимовича Хаина**

Москва, 1-4 февраля 2011 г.

Издательство  
Геологический факультет Московского Государственного Университета  
имени М.В.Ломоносова  
2011 г.

УДК 55  
ББК 26  
С28

**С28** **Современное состояние наук о Земле.** Материалы международной конференции, посвящённой памяти Виктора Ефимовича Хаина, г.Москва, 1-4 февраля 2011 г. – М.: Изд-во Геологический факультет Московского Государственного Университета имени М.В.Ломоносова, 2011. – 2297 с.

ISBN 978-5-9902631-1-6

*Тезисы докладов представлены в авторской редакции.  
Организационный комитет не во всех случаях разделяет представления и идеи  
авторов, излагаемые в публикуемых тезисах.*

Конференция организована при финансовой поддержке Российского  
Фонда Фундаментальных Исследований (проект 11-05-06004-г)

Сборник материалов конференции включает доклады специалистов в различных областях наук о Земле из академических, учебных и производственных организаций России, представленные на международной конференции, посвящённой памяти Виктора Ефимовича Хаина, проходившей 1-4 февраля 2011 года на Геологическом факультете МГУ имени М.В.Ломоносова, г.Москва. Большинство статей посвящено решению не только специальных проблем геологии, но также имеет общенаучное – прикладное и методологическое значение.

Сборник будет полезен широкому кругу студентов, аспирантов и научных работников геологических и смежных специальностей.

**УДК 55**  
**ББК 26**

ISBN 978-5-9902631-1-6

© Авторский коллектив, 2011  
© Геологический факультет МГУ, 2011

## СОПОСТАВЛЕНИЕ МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОСФОРИТОВ ФАНЕРОЗОЯ

**Литвинова Т.В., Аббясов А.А.**

*Геологический институт РАН, Москва ([Litvinova-geo@rambler.ru](mailto:Litvinova-geo@rambler.ru))*

Накопление фосфоритов во времени происходило неравномерно. Так, в фанерозое выделяются две глобальные эпохи фосфатогенеза, приуроченные к пограничным толщам венда-кембрия и позднего мела-палеогена. По принятой в нашей стране классификации, фосфориты первой из них относятся к микрозернистому типу, а вторые – к зернистому [17]. И те, и другие возникли в условиях жаркого засушливого климата в мелководной морской обстановке, а зоны фосфоритообразования характеризуются высокой биопродуктивностью и ограниченным поступлением разбавляющего терригенного материала. Мелкозернистый тип фосфоритов формировался в узких проливообразных бассейнах, существование апвеллингов в таких условиях представляется маловероятным, в отличие от мел-палеогеновых фосфоритов, возникших в шельфовой зоне океана. В нашей работе сопоставлены характеристики минералого-петрохимического состава фосфоритов этих двух глобальных эпох фосфатонакопления с целью установления независимых критериев возникновения и формирования фосфоритов в эти времена. Работа осуществлялась с помощью компьютерной программы MINLITH [19], которая позволяет вычислить минеральный состав осадочных пород по их валовым химическим анализам с высокой степенью приближения к реальному и установить независимые критерии для его сопоставления в фосфоритах разных бассейнов. Нами были использованы опубликованные данные (300 анализов) из различных литературных источников, которые содержат полную химическую расшифровку состава фосфоритов по крупнейшим месторождениям мира.

В вендско-кембрийскую эпоху фосфатонакопления возникли огромные по площади осадочные бассейны, где в относительно короткий промежуток

геологического времени сформировались крупные фосфатонесные провинции. Характерными особенностями пластовых фосфоритов являются приуроченность их к кремнисто-доломитовой формации, ассоциация с ванадиеносными углеродисто-кремнистыми сланцами, повышенное содержание  $P_2O_5$  во всех вмещающих породах. Они сложены мельчайшими фосфатными частицами – пеллетами (микрозернами), включенными в карбонатный либо в кремневый цемент. Изучение пеллет показало, что они, возможно, имеют биогенную природу [9, 13]. Палеобассейны, в которых формировались пластовые фосфориты, возникали в условиях жаркого, засушливого климата в неглубоких проливообразных бассейнах с островами и отмелями и связаны с регрессивно-трансгрессивными отложениями. В разрезах венда фосфоритам предшествуют вулканогенно-осадочные породы, аркозовые песчаники и тиллитоподобные отложения. Перекрываются они обычно мощными толщами карбонатных пород кембрия-ордовика. Часто в подошве фосфоритов находятся горизонты так называемых «нижних» доломитов и кремневых пород, и в тех и в других выявлены строматолитовые постройки [6, 10], а венчаются они в основном железомарганцевыми доломитами. Обычно в разрезах выделяются от двух до четырех фосфатных горизонтов, разделенных глинистыми сланцами. Сходство условий образования пластовых фосфоритов привело исследователей к предположению, что именно совокупность геологических особенностей осадконакопления явилась одной из определяющих причин их возникновения [14].

В результате обработки и пересчета данных по фосфоритам [8] был выявлен следующий минеральный состав:  $SiO_2$  (включены все разновидности кремнезема),

полевые шпаты, глинистые минералы, карбонатные минералы, апатит (фторкарбонатапатит) и некоторые другие. Основные минеральные составляющие фосфоритов по каждому из вышеперечисленных бассейнов можно разделить на три условные группы (рис. 1). Так, фосфориты Хубсугульского и Малокаратауского бассейнов характеризуются значительной карбонатностью и магнезиальностью. Ко второй группе, в которой доминируют иные компоненты (кремнезем, полевые шпаты, глины), относятся фосфориты Джорджины и Удско-Шантарского района. Фосфориты Фосфории и Янцзы были включены нами в третью группу, так как в координатах карбонатные – терригенные компоненты занимают промежуточное положение. Сопоставление данных по количественному составу доломита–апатита показывает, что и в этих координатах мы имеем те же три группы, каждая из которых хорошо выражена на графике (рис. 2). Разброс в процентном содержании данных по количеству фторкарбонатапатита для каждого из бассейнов незначителен, причем точки его максимальных величин находятся в ограниченных пределах, однако по количеству доломита–анкерита наблюдаются значительные расхождения (рис. 2). Следует отметить, что и внутри каждой из этих условных групп выделяются существенные различия. Так, отложения Хубсугульской фосфатной провинции более всего соответствуют обстановкам полужамкнутого гиперсоленого магнезиально-карбонатного бассейна, тогда как одновозрастные им фосфориты Каратау характеризуются как осадки бассейна открытого типа со значительным привнесом терригенного материала. Удско-Шантарские фосфориты отличаются высокой кремневой составляющей, а фосфориты Джорджины характеризуются наибольшим количеством глинистых минералов.

Таким образом, можно предполагать, что формирование каждого из фосфатных бассейнов происходило в различных палеогеографических обстановках, определявшихся конфигурацией водоема и его рельефом, а также составом областей

питания. Известно, что среднее содержание  $P_2O_5$  в рассмотренных нами палеобассейнах существенно не отличается. Такие принципиальные различия минерального состава в однотипных фосфоритах указывают на то, что условия осадконакопления играли, несомненно, важную, но не основную роль в их возникновении. Однотипность геологического строения фосфатных провинций, которая нами была отмечена выше, является, по-видимому, результатом общего режима осадконакопления, характерного для этого времени, а не отличительной чертой фосфатогенеза. Очевидно, на рубеже венда-кембрия поступало огромное количество фосфора [1], заполнившего практически все доступные для него водоемы. В такой ситуации для его осаждения не требовались какие-либо особенные, исключительные условия: скорее наоборот, он просто не имел возможности не выпасть в осадок. Это подтверждается и многочисленными фосфатопоявлениями, известными в вендско-кембрийских отложениях, и общей «зараженностью» фосфором осадочных пород этого времени [17]. Дальнейшая реализация процессов фосфатонакопления осуществлялась с использованием механизма геохимического круговорота вещества [5].

Полученные результаты соответствуют гипотезе кембрийского «взрыва», согласно которой причиной перестройки осадконакопления являлись резкие изменения атмосферы и солевого состава морской воды, которые произошли в результате космических событий. Это привело к распаду Родинии и таянию ледников, а также колебанию содержания свободного кислорода в атмосфере и изменению в осадках изотопных составов углерода, серы и стронция [15]. Как известно, этапы великих вымираний и обновлений биосферы планеты отразились в построении стратиграфической шкалы и приурочены к границам эр и периодов. Наиболее крупное из таких событий и возникло в венде-кембрии, когда практически исчезла эдиакарская биота и появилась первая скелетная фауна.

Возникновение вендско-кембрийской эпохи фосфатонакопления с близкими по геологическому строению бассейнами, но индивидуальной геохимическо-минералогической характеристикой указывает на практически одновременное поступление на Землю огромного количества фосфора, заполнившего все водоемы и явившегося одной из причин бурного развития жизни.

Палеобассейны, возникшие в мел-палеогеновую эпоху фосфатонакопления, залегают среди практически лишенных фосфора пород [12]. Они занимают два стратиграфических уровня – кампан-маастрихский и нижний и средний эоценовый, причем во многих бассейнах могут присутствовать и т, и другие возрастные категории. В это время появились многочисленные месторождения фосфоритов, большая часть которых располагается в палеобассейнах Аравийско-Африканской платформы и Средиземноморья и приурочены к тектоническим поднятиям фундамента. Это Восточно-Средиземноморский, Египетский, Алжиро-Тунисский, Марокканский бассейны, а также группа бассейнов, размещающихся вдоль западного побережья Африки, среди которых выделяются Западно-Сахарский, Сенегальский, Того- и Мали-Нигерийские.

В результате комплексного анализа материала с помощью компьютерной программы MINLITH было выявлено, что фосфориты существенно не отличаются ни по фосфатной (апатит), ни по карбонатной составляющим, относительно стабильно в них и количество полевых шпатов [7]. Поэтому четыре петрогенетических группы выделялись нами не по высокому содержанию тех или иных составляющих, а по их отсутствию. В первую группу попадают фосфориты, в которых не выявлены глины, в дальнейшем мы будем их называть безглинистым типом. Ко второй группе относятся фосфориты, в которых глины имеют каолиновый состав, а кремнезем отсутствует – бескремнистый тип. Третья группа характеризуется присутствием магнезиальных глин и относительно высоким содержанием кремнезема, мы

называли ее кремнистой. В четвертую вошли фосфориты, в которых отсутствуют и кремнезем, и глины – в дальнейшем мы будем называть их чистыми фосфоритами. Комплексный анализ химического состава фосфоритов, осуществленный с помощью компьютерной программы, показал отсутствие в них корреляции между количествами кремнезема и апатита, а также глин и апатита. Выделенные нами типы фосфоритов могут находиться в разных месторождениях, но в пределах единой области осадконакопления, то есть не являются характерными для какого-либо отдельного бассейна.

На графике (рис. 3, а) по оси абсцисс отложены отношения всех терригенных пород к сумме карбонатов, а по оси ординат – количество апатита в процентах. Корреляционная линия для каждого из выделенных типов фосфоритов существенно различается. Так, для кремнистого и для безглинистого типов существует прямопропорциональная зависимость этих величин, тогда как для бескремнистых фосфоритов такая зависимость не наблюдается, скорее наоборот: количество апатита существенно возрастает при незначительном уменьшении отношения терригенных пород к сумме карбонатов.

На графике (рис. 3, б) по оси абсцисс отложена сумма кремнезема и полевых шпатов, а по оси ординат – отношения доломита к сумме всех известняков в процентах. И здесь корреляционные линии каждого из выделенных типов фосфоритов различны. Так, для кремнистого и безглинистого типов мы видим прямопропорциональную зависимость этих величин, то есть при увеличении количества кремнезема и полевых шпатов возрастает роль доломита. Для бескремнистого типа характерна обратная зависимость: при уменьшении суммарного количества кремнезема и полевых шпатов доля доломитов в карбонатных породах уменьшается. На наших графиках не показан четвертый тип (чистые фосфориты), так как для него отсутствует какая-либо корреляционная связь: точки бессистемно разбросаны по всему полю каждого из графиков.



Рис. 2. Диаграмма соотношения минеральных фаз в фосфоритах: 1 – Хубсугул; 2 – М. Каратау; 3 – Янцзы; 4 – Джорджина; 5 – Удско-Шантарский район; 6 – Фосфория; 7 – условные границы групп

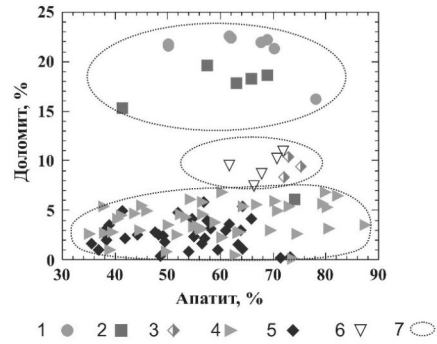
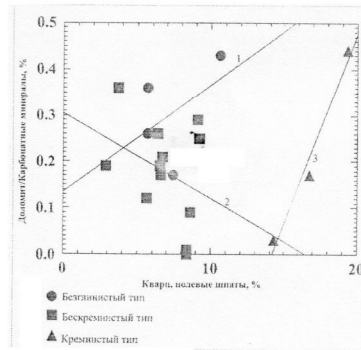
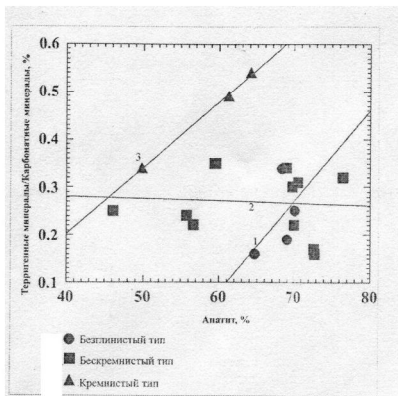


Рис. 3. Диаграмма доломит – апатит для фосфоритов различных провинций: 1 – Хубсугул; 2 – М. Каратау; 3 – Янцзы; 4 – Джорджина; 5 – Удско-Шантарский район; 6 – Фосфория; 7 – условные границы групп.



Из полученного материала вытекает следующее. Магнезиальный состав глин в третьем, кремневом типе указывает на то, что, по крайней мере, часть кремнезема является сингенетичной по отношению к фосфоритам, это подтверждается и некоторыми другими данными [11]. Несмотря на то, что бассейны фосфатонакопления расположены на достаточно большом расстоянии друг от друга, почти в каждом из них можно встретить большинство или даже все выделенные нами типы. Это говорит о том, что питающие провинции оказывали лишь косвенное влияние на процессы фосфатонакопления в этом регионе, в отличие от вендско-кембрийских фосфоритов, в которых отчетливо просматривается индивидуальность каждого из бассейнов, также включающих группу месторождений.

Основным механизмом осаждения фосфора в мел-палеогеновую эпоху фосфатонакопления являлся апвеллинг, действующий в биопродуктивных зонах [3,

4]. В позднемеловое время раздвижение гондванских материков достигает своего максимума; оно сопровождается широтной циркуляцией вод и возникновением многочисленных зон апвеллингов, и Атлантический океан приобретает современный вид [16]. В это время происходило также значительное потепление климата [18], что создавало благоприятную обстановку для развития биоса, тем самым ускоряя процессы фосфатонакопления.

Количество апатита в фосфоритах не зависит от содержания и состава примесей, то есть от присутствия глин, кремнезема, полевых шпатов и т.д., причем различные типы фосфоритов выявлены в пределах каждого из бассейнов. Следовательно, действие апвеллинга и роль питающих провинций следует рассматривать только как механизм накопления фосфора, но не его источник. На это также указывает привязанность фосфатонакопления к относительно узким стратиграфическим интервалам и присутствие в разрезах мощных толщ биогенных известняков.

Общее количество фосфора, растворенного в морской воде, недостаточно даже для возникновения одного фосфатоносного бассейна таких масштабов, как вендско-кембрийские или мел-палеогеновые фосфатоносные провинции. В то же время, для мел-палеогеновой эпохи характерно очень широкое распространение областей фосфатонакопления. Кроме Аравийско-Африканских платформы, известны мелкие месторождения и проявления фосфоритов в Средней Азии, в Актюбинском бассейне, на севере Индии, в Греции, Колумбии, Венесуэле, в Восточно-Кордильерском бассейне, в прибрежных районах Австралии и некоторые другие, часть из них относится к желваковому типу. Последний присутствует и в Африке, в верхних фосфатных горизонтах и является признаком завершения промышленного фосфатонакопления. Кайнозойские фосфориты, приуроченные к среднему эоцену, характеризуются гораздо меньшим масштабом распространения и известны только в Кызылкумском и Фергано-Таджикском бассейнах.

Возникновение мел-палеогеновой эпохи фосфатонакопления происходило в условиях тектонически активизированных окраин Африканско-Аравийской платформы и Атласской эпиплатформенной области [3, 12]. Накопление такого огромного количества фосфора в достаточно узкие стратиграфические интервалы (пограничные толщи венда-кембрия, мела-палеогена) не могло происходить только за счет внутренних ресурсов Земли. Поступление мощной энергии и вещества осуществлялось извне [1], поэтому время активизации тектонических процессов и глобального фосфатонакопления совпадают [12]. Это же причина непротиворечиво объясняет расположение на Земле и миграцию во времени фосфатоносных бассейнов из Азии в венде-кембрии на запад в мел-палеогене, в Африку [2]. Источник фосфора для этих двух эпох был один, а механизмы накопления различные, что хорошо видно при проведении комплексного компьютерного анализа петрохимического состава фосфоритов.

### Литература

1. Баренбаум А.А., Литвинова Т.В. Периодичность эпох фосфатонакопления и ее возможные космические причины // ДАН. 2002. Т.385. №2. С.220-222.
2. Баренбаум А.А., Литвинова Т.В. О механизме возникновения палеозойских фосфатов и солей // ДАН, 2005. Т.405., № 4. С.501-506.
3. Батулин Г.Н., Покрышкин В.И. Апвеллинг и фосфоритообразование // Океанология, 1980. Т.20. Вып.1. С. 87-96.
4. Батулин Г.Н. Фосфориты на дне океанов. М.: Наука, 1978. 231с.
5. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука. 2001. 376с.
6. Еганов Э.А. Фосфоритообразование и строматолиты. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1988. 89с.
7. Литвинова Т.В., Аббясов А.А. // Комплексный анализ данных по петрохимии фосфоритов Аравийско-Африканской материковой платформы и Средиземноморья ДАН 2010 Т.433.№1.С. 455-460
8. Литвинова Т.В., Аббясов А.А. Происхождение пластовых фосфоритов и геохимико-минералогические особенности их накопления. // ДАН 2009. Т.428. № 1. С. 93-95.
9. Литвинова Т.В. // Состав, морфология и происхождение фосфатных пеллет (на примере фосфоритов Малого Каратау) Литология и полезн. ископаемые. 2007. №4 С. 426-443.
10. Литвинова Т.В. // О строматолитовой природе кремнистого горизонта чулактауской свиты Малого Каратау // Литология и полезные ископаемые. N2. 1990. С.88-96.
11. Покрышкин В.И. Платформенные фосфоритовые месторождения верхнего мела и палеогена Средиземноморской провинции // Полезные ископаемые и закономерности их размещения в странах Африки и зарубежной Азии. М. НИЛЗРУБЕЖГЕОЛОГИЯ, 1970. Труды, вып. 2. С.126-149
12. Соколов А.С., Еганов Э.А., Краснов А.А., Школьник Э.Л. Проблемы фосфоритогенеза // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. С.569-583.
13. Холодов В.Н., Пауль Р.К. // Литология и полезн. ископаемые. 1999. N5. С. 503-517.
14. Школьник Э.Л., Тан Няньфу, Еганов Э.А. и др. Природа фосфатных зерен и фосфоритов крупнейших бассейнов мира. Владивосток: Дальнаука, 1999. С.206.
15. Хаин В.Е.. Основные проблемы геологии. М.: Наука. 2003. 347 с.

16. Хаин В.Е., Халилов Э.Н. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа// М.: Научный мир, 2009. 520 с.
17. Яншин А.Л. Эволюция геологических процессов в истории Земли. Л.: Наука, 1983. 399с.
18. Ясаманов Н.А. К вопросу о возможных причинах изменения глобальных температур земной поверхности в фанерозое// Доклады АН СССР. 1982. Т.262. №1. С.172-174.
19. Rosen O.M., Abbyasov A.A., Tipper J.C. MITLITH – an experience-based algorithm for estimating the likely mineralogical compositions of sedimentary rocks from bulk chemical analyses //Computers and Geosciences, 2004, Vol 30, No. 6, pp 647-661.