УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ КАЗАНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
Том 153, кн. 4 Естественные науки *2011*

УДК 552.541:553.492.1(470.5)

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАДРУДНОЙ ТОЛЩИ ИЗВЕСТНЯКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРОУРАЛЬСКОГО БОКСИТОВОГО РУДНИКА

А.Л. Анфимов, Е.И. Сорока

Аннотация

Комплексное литолого-фациальное изучение надрудных известняков эмсского горизонта нижнего девона в Новокальинской шахте показало, что их образование происходило в мелководных прибрежно-морских условиях. Лабораторные исследования химического и минерального состава позволили утверждать, что в них почти повсеместно присутствует бемит. Электронномикроскопическое изучение образцов показало, что скопления скрытокристаллического бемита находятся в основной массе в промежутках между обломками известняков и карбонатного органогенного детрита. Сделан вывод, что бемит попал в карбонатные породы в период седиментогенеза в морской обстановке в виде тонкодисперсных коллоидных частиц, которые являются одной из основных форм миграции алюминия.

Ключевые слова: надрудные известняки, прибрежно-морские условия, бемит, алюминиево-кремнетитановые гели.

Введение

Североуральский бокситовый рудник (СУБР) расположен на восточном склоне Северного Урала северо-восточнее г. Североуральск (рис. 1). В составе рудника выделяют ряд месторождений: Красная Шапочка, Кальинское, Новокальиснкое, Черемуховское, отличающиеся глубиной залегания, мощностями рудных залежей и рядом других характеристик. Добыча руды ведется шахтным способом. В Новокальинской шахте на горизонте 800 м скважиной 64, пробуренной снизу вверх в кровлю залежи боксита, был вскрыт разрез карбонатных пород мощностью 4.2 м (бурение велось практически перпендикулярно к слоистости). В разрезе был выделен ряд интервалов, изучение которых позволило дать определенную интерпретацию условий осадконакопления в начале эмсского века непосредственно сразу же после окончания процессов бокситообразования (рис. 2).

1. Методы и результаты

Мергели и известняки слоев № 1–3 (рис. 2) сформировались вблизи береговой линии в застойных условиях мелководной лагуны с нарушенной соленостью, слабо сообщающейся с открытым морским бассейном. Это подтверждается однообразием и немногочисленностью органических остатков, присутствием зеленых, харовых водорослей и цианобактерий, обрывков гелефицированной древесины,

Рис. 1. Обзорная карта района исследований. Масштаб 1:200 000

редких раковин планктонных фораминифер, высоким содержанием органического вещества и глинистой примеси, наличием слабо выраженной пологоволнистой слоистости, иловыми уровнями в раковинах (рис. 3, *б*). В этих породах обнаружен бемит (5–20%), присутствует пирит (5–10%), а содержание кальцита уменьшено (42–75%) (табл. 1).

В слоях № 4–6 наблюдается увеличение содержания кальцита до 81–89%, углистого вещества до 1–2.5%, уменьшение содержания бемита 2.5–5%, пирита 1–5% (табл. 1). Одновременно возрастает количество органических остатков и их видовое разнообразие, что, скорее всего, связано с установлением тесной связи с морским бассейном (появляются членики криноидей, раковины прикрепленных фораминифер – тубепорин, фрагменты рецептакулитов). Вместо вакстоунов-пакстоунов предыдущих слоев здесь преобладают пакстоуны с ориентированным расположением остатков микрофауны, образующих слоистость, подчеркнутую тонкими прослоями с глинисто-углистым веществом. Условия образования данных пород ближе к лагунной подвижной водной среде.

В верхней части разреза в слоях № 8, 9 увеличивается содержание нерастворимого остатка, а также бемита до 5–10%, пирита до 5–10% и уменьшается содержание кальцита до 56–72% (табл. 1). В то же время идет смена остракодово-рецептакулитовых пакстоунов, отмеченных в слое № 7 (рис. 2), вышележащими криноидно-ветвисто-табулятовыми и криноидно-брахиоподово-остракодовыми пакстоунами (рис. 3, *в*, *г*), появляются ценостеумы амфипор (рис. 2), типичные для условий зарифовых лагун [6]. Происходит смена условий подвижной лагуны на малоподвижную, то есть связь с морским бассейном вновь ослабевает. Такие же колебания уровня морского бассейна отражены и в карбонатных разрезах других месторождений СУБРа [2].

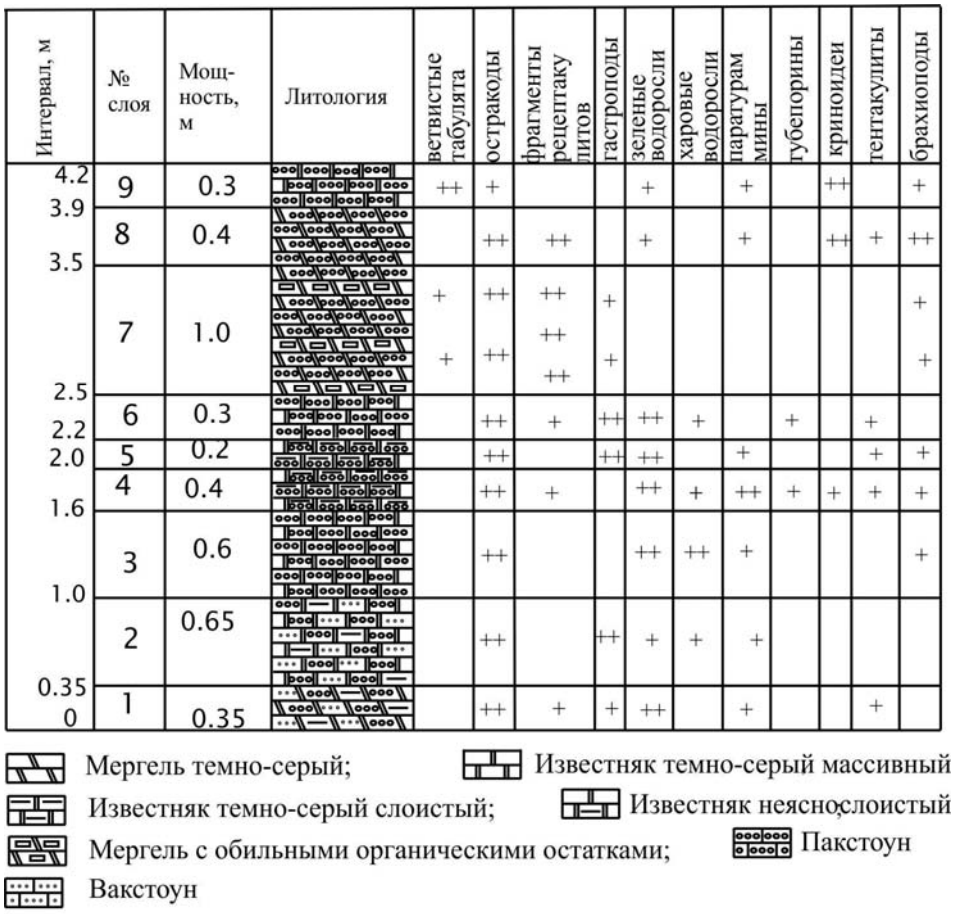

Рис. 2. Литолого-фациальная колонка скважины 64, пробуренной снизу вверх в в эмсских глинистых известняках и мергелях кровли залежей бокситов в шахте Новокальинского месторождения СУБРа, горизонт 800 м

Более детальное изучение образцов, содержащих скрытокристаллический бемит, были выполнены на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390LV (JEOL) в Институте геологии и геохимии УрО РАН (оператор С.П. Главатских) На электронно-микроскопических снимках поверхности образца известняка 07-8 из Новокальинской шахты (рис. 3, *в*, *г*) мы видим основную кальцитовую массу, углеродистое вещество (черное), обломки фауны, известняка, зерна аутигенного пирита. При дальнейшем увеличении становится заметно, что тонкодисперсное углеродисто-глинистое вещество находится в промежутках между зернами кальцита основной массы, размер зерен примерно 5 мкм (рис. 3, *д*, *е*).

2. Обсуждение результатов

Установлено, что в перекрывающих бокситы темно-серых известняках и мергелях основания карпинского горизонта Новокальинского месторождения присутствует бемит, содержания которого в семи пробах составили 2.5–5%, а в двух пробах (07-1 и 07-8) – до 10–20% [1, 2]. Ранее в публикациях упоминалось только о незначительных содержаниях бемита в известняках надрудной толщи [8].

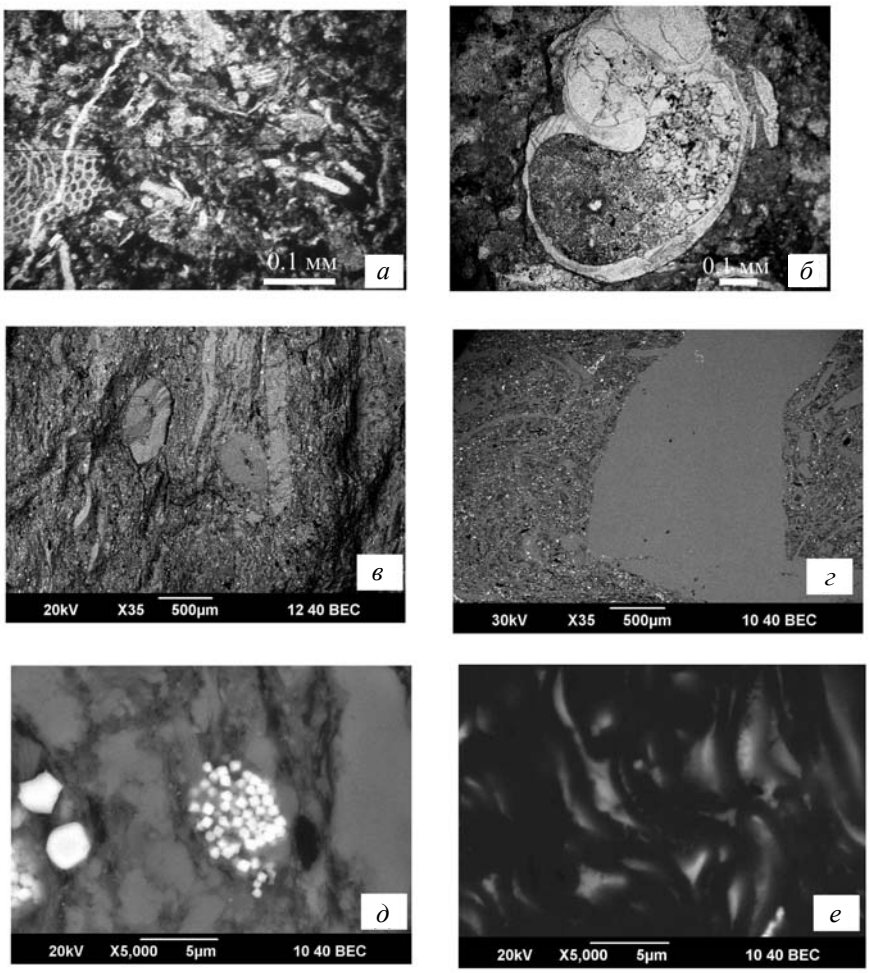

Рис. 3. Микрофотографии шлифов надрудных известняков: *а*) био-литокластический пакстоун с обломками створок остракод, в основной массе видны участки скрытокристаллического бемита (серое, светло-серые штрихи) и углеродистого вещества (черные бесформенные выделения), слева в нижней части – фрагмент рецептакулита, Новокальинское месторождение, горизонт 800 м, обр. 07-8, естественный свет; *б*) водорослево-гастроподовый пакстоун, на переднем плане в раковине гастроподы виден иловый уровень, Новокальинское месторождение, горизонт 800 м, обр. 07-3, естественный свет. Электронно-микроскопические снимки поверхности бемитсодержащих известняков надрудной толщи (месторождение Новокальинское): *в* – брахиоподово-криноидный вакстоун, преобладает основная кальцитовая масса с бемитсодержащим углеродистым веществом, обломками фауны и литокластами (обр. 07-8); *г* – брахиоподово-остракодовый пакстоун, обломочная часть представлена фрагментами створок брахиопод (крупный фрагмент), остракод, неопределимыми обломками детрита, в основной массе видны черные углеродистые включения, тонкорассеянный пирит (обр. 07-8); *д* – тонкодисперсное бемитсодержащее углеродистое вещество (темно-серое) между зернами кальцита (серое), в центре снимка скопление зерен фрамбоидального пирита (белое), (обр. 07-1); *е* – хлопьевидные выделения глиноземисто-кремнисто-карбонатного вещества (серое) в углеродистой массе (черное), (обр. 07-1)

Табл. 1

Результаты комплексного изучения образцов надрудной толщи известняков шахты Новокальинской СУБРа

№ образца	Привязка по скв. 64, интервал отбора	Порода	Рентгенофазовый анализ	Термический анализ
07-1	Гор. 800 м, 0.25–0.35 м	Мергель черный неяснослоистый	Кальцит, пирит, бемит, хлорит	Кальцит 42%, пирит 10%, хлорит 15%, бемит 15–20%, ОВ* 0.1%, углистое вещество** 1%
07-2	Гор. 800 м, 1.0 м	Известняк (мергель) темно-серый неяснослоистый	Кальцит, арагонит, пирит, бемит, хлорит	Кальцит 74–75%, пирит 5%, хлорит 5%, бемит 5%, ОВ 0.4%, углистое вещество 1%
07-3	Гор. 800 м, 1.6 м	Известняк (мергель) темно-серый массивный пиритизированный	Кальцит, пирит, бемит, хлорит	Кальцит 74–75%, пирит 5–7%, бемит 5%, хлорит 5%, ОВ 0.2%, углистое вещество 1%
07-4	Гор. 800 м, 2.0 м	Известняк темно-серый, слоистость ко-со-волнистая с элементами пологоволнистой за счет углисто-глинистых прослоев	Кальцит, арагонит, пирит, бемит, хлорит	Кальцит 88–89%, пирит 5%, бемит 2.5%, хлорит 2.5%, ОВ 0.4%, углистое вещество 1%
07-5	Гор. 800 м, 2.2–2.3 м	Известняк глинистый, слоистый	Кальцит, арагонит, пирит, бемит, хлорит	Кальцит 83–84%, пирит до 5%, бемит 2.5%, хлорит 2.5% ОВ 0.3%, углистое вещество 1%
7-6	Гор. 800 м, 2.5 м	Известняк темно-серый массивный, пиритизированный	Кальцит, пирит, бемит, хлорит	Кальцит 80–81%, пирит 1%, бемит 5%, хлорит 5%, углистое вещество 2–2.5%
07-7	Гор. 800 м, 3.4–3.5 м	Мергель темно-серый с обилием гумуса	Кальцит, доломит, пирит, бемит, хлорит	Кальцит 71–72%, пирит 5%, бемит 5%, хлорит 5%, ОВ 0.5%, углистое вещество 3.5%
07-8	Гор. 800 м, 3.9 м	Мергель темно-серый неяснослоистый с углефицированными растительными остатками	Кальцит, доломит, пирит, бемит, хлорит	Кальцит 56–57%, пирит 5–10%, бемит 5–10%, хлорит 5–10%, ОВ 0.5%, углистое вещество 1–2%
07-9	Гор. 800 м, 4.2 м	Известняк темно-серый массивный	Кальцит, пирит, бемит, хлорит	Кальцит 82–83%, пирит 1%, бемит 5%, хлорит 5%, ОВ 0.2%, углистое вещество 1%

Примечание: рентгеноструктурные исследования выполнены на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu), термические исследования – на дериватографе DIAMOND TG/DTA (Perkin Elmer) в лаборатории ФХМИ ИГГ УрО РАН (операторы О.Л. Галахова, В.Г. Петрищева).

* ОВ – органическое вещество, соответствует тонкорассеянной органике, сгорающей при температурах 200-400 °С.

** Углистое вещество, может быть представлено битумами, углефицированными растительными остатками, выгорает при температурах 400–600 °С.

Вероятно, бемит попал в карбонатные породы в период седиментогенеза в морской обстановке в виде тонкодисперсных коллоидных частиц с размерами от 0.1 до 1–2 мкм, которые являются одной из главных форм миграции алюминия в растворах [5]. В бокситах СУБРа бемит представляет собой тонкоагрегатное вещество и, по мнению некоторых исследователей [4], является начальным продуктом раскристаллизации смеси алюмо-кремнетитановых гелей с приблизительной формулой $Al_2O_3 \cdot (1.2–1.4) \cdot H_2O$. Бемит оказался «запечатанным» в основной массе известняков и мергелей вместе с другими аллотигенными минералами и углеродистым веществом. Карбонатные породы могли играть роль как осадителя-коагулянта, так и механических ловушек. Роль осадителей-коагулянтов также могут играть и сульфат-ионы, и другие многозарядные анионы типа фосфатов [5]. Это объясняет, почему количество скрытокристаллического бемита в надрудной толще увеличивается в прослоях с высокими содержаниями органического вещества и глинистых примесей (обр. 07-1 и 07-8, см. табл. 1). В этих же прослоях увеличивается и количество соединений серы и фосфора, которые, по данным [7], вместе с органическим веществом сапропелевого типа присутствуют в надрудных толщах известняков СУБРа.

Исследования вещественного состава пород надрудной толщи на Черемуховском и Кальинском месторождениях также показали значительные содержания нерастворимого остатка, а также бемита, каолинита, слюды, хлорита, пирита, кварца, полевых шпатов, органического вещества [2]. На разных месторождениях СУБРа отмечены и некоторые изменения в составе мирофауны. Например, видовой состав фораминифер и водорослей наиболее разнообразен на Черемуховском месторождении, что, вероятнее всего, связано с большей глубиной морской лагуны [3].

Заключение

Можно сделать вывод, что образование рудовмещающих известняков СУБРа шло в условиях мелководной морской лагуны, сообщение которой с открытым морским бассейном периодически ослабевало, что способствовало образованию своеобразной ловушки как для обломков терригенных пород (в частности, базальтов), так и коллоидных частиц алюминия. Вероятно, в момент бокситообразования преобладало поступление коллоидных форм, а ослабление этого процесса происходило постепенно, поэтому алюмогели попадали и в сами бокситы, и в надрудные известняки.

Что касается условий формирования бокситов СУБРа, то, по нашим данным [1], в зоне перехода от боксита к мергелям отсутствуют следы волновой абразии (за исключением Козьереченского месторождения). Сам контакт этих пород постепенный, что свидетельствует о накоплении бокситового материала не в континентальных, а в мелководных лагунных условиях. Это подтверждается наличием в составе залежей бокситов остатков морской фауны, в том числе прослоев с амфипорами, а также отсутствием следов ископаемых почв на контакте с мергелями в кровле руды, которая в случае длительного нахождения в континентальных условиях должна была бы образоваться на переотложенных продуктах площадной коры выветривания.

Исследования поддержаны РФФИ (проект № 09-05-00344).

Summary

A.L. Anfimov, E.I. Soroka. The Formation Conditions of a Supraore Limestone Sequence in the Severouralsk Bauxite Deposits.

An integrated lithological and facial study of supraore limestones of the Emsian Stage (Lower Devonian) at the Novokalynskaya mine showed that they were formed in shallow coastal marine environments. Laboratory analysis of the chemical and mineral composition of the limestones allowed us to assert that boehmite is almost universally present in their composition. An electron microprobe study of the samples indicated that the accumulations of microcryptocrystalline boehmite are generally located in the spaces between the fragments of calcareous rocks and organic detritus. It is concluded that boehmite appeared in carbonate rocks during sedimentogenesis in marine environment in the form of finely dispersed colloidal particles, which is one of the main forms of aluminum migration.

Key words: supraore limestone, coastal marine environments, boehmite, aluminum-silica-titanium gels.

Литература

1. *Анфимов А.Л.* Морские бокситы СУБРа // Актуальные вопросы литологии: Материалы 8-го Урал. литолог. совещ. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. – С. 21–23.
2. *Анфимов А.Л.* Литолого-фациальные особенности мергелей и известняков кровли залежей бокситов Североуральского района // Ежегодник-2009: Тр. ИГГ УрО РАН. – 2010. – Вып. 157. – С. 62–66.
3. *Анфимов А.Л.* Биота и литология карбонатных пород кровли бокситовых залежей Североуральского бокситового рудника // Материалы по палеонтологии и стратиграфии Урала и Западной Сибири (девонская и каменноугольная системы). – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 119–126.
4. *Бенеславский С.И.* Минералогия осадочных бокситов // Бокситы и их минералогия и генезис. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – С. 7–52.
5. *Матвеева Л.А., Неклюдова Е.А., Рождественская З.С.* Высокодисперсные и коллоидные соединения $Al(OH)_3$ и значение их в миграции алюминия // Бокситы и другие руды алюминиевой промышленности. – М.: Наука, 1988. – С. 130–143.
6. *Уилсон Дж.Л.* Карбонатные фации в геологической истории. – М.: Недра, 1980. – 465 с.
7. *Одинцова Т.А., Бачурин Б.А.* Органическое вещество бокситоносных формаций Северного Урала // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: Сб. науч. ст. – Пермь: Перм. ун-т, 2007. – С. 349–356.
8. *Шнейдер Б.А., Ширшова Д.И.* Литологические особенности девонской бокситовмещающей толщи Черемуховского месторождения и их палеореконструктивное значение // Геосинклинальные бокситоносные отложения Урала: Сб. ст. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1979. – С. 3–17.

Поступила в редакцию
04.11.11

Анфимов Артемий Львович – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург.
E-mail: *anfimov@igg.uran.ru*

Сорока Елена Индустровна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург.
E-mail: *soroka@igg.uran.ru*