

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ФОСФАТЫ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОГО СКЛОНА ЮЖНОГО УРАЛА

А.А. Алексеев, Е.А. Тимофеева

Институт геологии Уфимского научного центра РАН

450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2

E-mail: abzai@mail.ru

Поступила в редакцию 20 июля 2007 г.

В работе приводятся первые сведения о редкоземельных фосфатах, выявленных авторами в последние годы в коренных породах и аллювиальных отложениях водотоков западного склона Южного Урала, размывающих рифейско-вендские отложения Башкирского мегантиклинория. В петрографических шлифах метаморфических пород на нижне- и среднерифейском терригенном субстрате установлено присутствие метаморфогенного монацита; выявлено коренное проявление акцессорного монацита в филлитизированных глинистых сланцах и алевролитах хребта Б. Шатак. В тяжелой фракции аллювиальных отложений водотоков верховьев реки Белой выявлено присутствие неокатанных фрагментов монацита, ксенотима и флоренсита в ассоциации с метаморфогенными гранатом, биотитом, цоизитом, хлоритоидом, рутилом, турмалином, ильменитом. Приводятся морфологические и спектральные характеристики указанных фосфатов, химические анализы монацитсодержащих пород и содержания в них РЗЭ, микрозондовые анализы редкоземельных минералов. Обосновано метаморфогенное происхождение редкоземельно-фосфатной минерализации.

Ключевые слова: *рифей, Южный Урал, редкоземельные элементы, монацит, ксенотим, флоренсит.*

RARE-EARTH PHOSPHATES IN THE ROCKS AND ALLUVIUM IN THE SOUTH URALS WESTERN SLOPE

A.A. Alekseyev, E.A. Timofeyeva

Institute of Geology, Ufa Science Centre of RAS

The first information on rare-earth phosphates, which was found recently by authors in the bedrocks and alluvium of the streams washing Riphean-Vendian deposits in the South Urals western slope, is given in the paper. In the sections of metamorphosed Lower and Middle Riphean terrigenous rocks was found metamorphogenic monazite; an accessory monazite was discovered in phyllitised shales and aleurolites of the Bolshoi Shatak Range. The alluvium heavy fraction of the upper reach of Belaya River streams show the presence of unrounded fragments of monazite, xenotime, and florensite together with metamorphogenic garnet, biotite, zoisite, chloritoid, rutile, tourmaline and ilmenite. The morphological and spectral characteristics of the above-mentioned phosphates, chemical analyses of monazite-bearing rocks and their rare-earth contents as well as microprobe analyses of rare-earth minerals are presented in the paper. The metamorphogenic origin of rare-earth phosphate mineralization is substantiated.

Key words: *Riphean, South Urals, rare-earth elements, monazite, xenotime, florensite.*

Сведения о редкоземельных фосфатах в горных породах западного склона Южного Урала в геологической литературе крайне скудны. Присутствие монацита в тяжелой фракции протолочек песчаников айской, зигальгинской и зильмердакской свит рифея отмечалось М.Т.

Орловой [1960] и Ю.Р. Беккером [1960] – в песчаниках такатинской свиты девона. Новые данные, существенно расширяющие наши представления о геологии и минералогии этого региона, были получены нами в результате исследования регионального метаморфизма горных

пород при шлихо-минералогическом анализе аллювиальных отложений водотоков западного склона Южного Урала в связи с изучением проблемы коренной алмазности Республики Башкортостан (рис. 1).

Изучение и составление карты метаморфизма горных пород западного склона Южного Урала сопровождалось описанием почти 20 000 петрографических шлифов коренных пород из архивных коллекций геологосъемочных работ в пределах Башкирского мегантиклинория. При этом в нескольких десятках шлифов было выявлено присутствие монацита в единичных (реже до 2-3 зерен на шлиф) субидiomорфных и идиоморфных толстотаблитчатых выделениях размером от 0,1 до 0,5 мм; в двух шлифах отмечены сдвойникованные метакристаллы размером до 0,3-0,4 мм. Почти всегда в монаците присутствует значительное количество мелких (не более 0,03 мм) непрозрачных выделений магнетита или ильменита, однотипных с рудными минералами основной массы монацитсодержащих пород. Нередко размеры рудных выделений в монаците несколько меньше таковых за его пределами, что может достаточно определенно говорить о метаморфогенном

характере этого фосфата. Монацитовая минерализация зафиксирована в породах суранской, юшинской, машакской и зигазино-комаровской свит нижнего и среднего рифея. Общим для монацитсодержащих пород является принадлежность их к слабометаморфизованным осадочным породам, представленным филлитами, филлитизированными глинистыми сланцами и алевролитами. К настоящему времени нами выявлено пока одно коренное проявление монацитсодержащих сланцев в юшинской свите в северной части хребта Бол. Шатак. Здесь в филлитизированных глинистых алевролитах монацит представлен редкой вкрапленностью серых и темно-серых (из-за включений рудных минералов) призматических кристаллов размером до 0,3-1,0 мм; в подчиненном количестве присутствуют желтые, без включений рудных минералов, преимущественно таблитчатые кристаллы монацита [Алексеев и др., 2003].

Более широкое развитие редкоземельные фосфаты имеют в аллювиальных отложениях водотоков бассейна реки Белой на западном склоне Южного Урала. При этом единичные знаки окатанных зерен монацита выявляются в основном в шлихах из аллювия рек и ручьев,

Рис. 1. Схема распространения проявлений метаморфогенных редкоземельных фосфатов на западном склоне Южного Урала.

1, 2 – находки монацита (1 – в петрографических шлифах коренных пород рифея, 2 – в коренном проявлении); 3-5 – находки редкоземельных фосфатов в шлихах аллювиальных отложений (3 – монацита, 4 – монацита и ксенотима, 5 – флоренсита, часто с монацитом и ксенотимом); 6 – палеозой; 7 – рифей и венд; 8 – зона проявления поздневендского метаморфизма рифейско-вендских отложений; 9 – Юрюзано-Зюраткульский разлом.

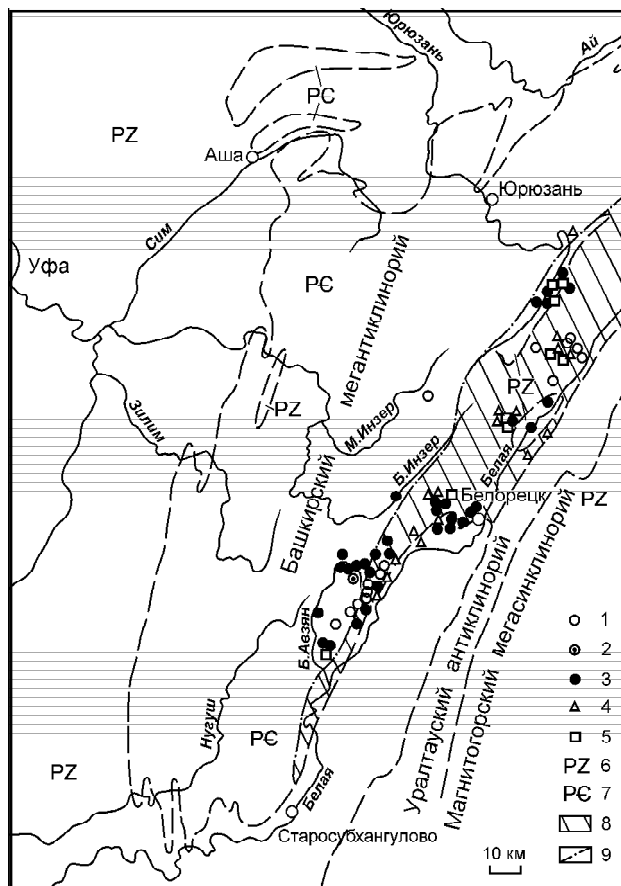


Таблица 1

Химический состав монацита, мас. %

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	—	—	0,13	0,17	—	—	—	0,11
P ₂ O ₅	30,70	31,15	29,99	30,65	30,31	29,94	30,28	29,87
CaO	1,10	0,94	1,45	0,22	0,09	0,36	—	1,13
La ₂ O ₃	16,45	18,14	9,79	16,19	16,80	11,38	12,47	14,10
Ce ₂ O ₃	29,41	30,09	24,66	33,89	31,69	32,16	33,00	29,62
Pr ₂ O ₃	2,53	3,47	3,98	3,65	3,82	3,94	4,35	3,58
Nd ₂ O ₃	14,56	12,53	16,32	12,81	12,30	15,25	15,45	12,01
Sm ₂ O ₃	1,60	0,50	3,19	1,22	2,12	2,37	2,59	1,88
Eu ₂ O ₃	—	—	0,60	—	0,50	0,33	—	—
Gd ₂ O ₃	—	—	1,25	—	1,61	0,76	1,13	1,25
Dy ₂ O ₃	—	—	0,19	0,20	0,48	—	—	—
ThO ₂	2,92	3,36	8,45	0,68	0,20	3,26	1,22	7,08
Сумма	99,27	100,18	100,00	99,72	99,92	99,75	100,99	100,63

Примечание. 1-3 – монацит серый призматический из монацитсодержащих сланцев (хр. Б. Шатак); 4-8 – монацит желтый таблитчатый из руслового аллювия (4 – р. Б. Авзян, 5 – р. Кадыш, 6 – р. Б. Авняр, 7 – руч. Авалякский, 8 – р. В. Мата).

размывающих песчаники такатинской свиты, на западном крыле Башкирского мегантиклинория. В русловых и аллювиальных отложениях низких и высоких террас водотоков восточной подзоны Башкирского мегантиклинория, сложенной метаморфизованными породами рифея и венда, довольно часто выявляется присутствие (часто в десятках знаков на пробу), метаморфогенных монацита и, реже, ксенотима и флоренсита в неокатанных или очень слабо окатанных зернах. При этом из изученных нами примерно 130 шлиховых проб монацит выявлен более чем в 100 случаях, ксенотим и флоренсит – соответственно более чем в 60 и 40 пробах, нередко они присутствуют совместно. Монацит представлен преимущественно таблитчатыми кристаллами или их обломками с типовой для него медово-желтой окраской и, реже, в призматических зернах серого цвета. Размеры таблитчатых кристаллов нередко достигают 1,5-2 мм, при этом более крупные размеры зерен монацита свойственны участкам размыва сильнее метаморфизованных пород белорецкого метаморфического комплекса. Содержание монацита в шлихах меняется от единичных знаков до десятков и, реже, сотен знаков на пробу. Ксенотим (от единичных знаков до первых десятков) присутствует не во всех пробах; представлен он обычно зернами изометричной формы белого, серого или зеленоватого цвета, редко кристаллами дипирамидального или удлиненно-призматического об-

лика. Размеры выделений ксенотима в шлихах достигают 1-1,5 мм. Флоренсит отмечается в количестве от нескольких единиц до одного-двух десятков в виде светлобуровато-зеленоватых кристаллов остро-ромбоэдрического облика длиной до 0,5-0,7 мм, реже до 1 мм. Флоренсит, по имеющимся данным, отмечен в зонах развития относительно слабометаморфизованных пород филлитовой и зеленосланцевой фаций.

Монацит, ксенотим и флоренсит имеют присущие им оптические константы. Монацит и ксенотим даже в мелких выделениях хорошо диагностируются по наличию в видимой области спектра ясно заметных полос поглощения некоторых редкоземельных элементов. А.А. Кухаренко [1961] указывает на присутствие в спектре абсорбции монацита широкой и размытой полосы поглощения на границе желтой и красной частей спектра и тонкой, более слабой – в зеленой части спектра. При наблюдении с помощью спектральной насадки СПО-1, производства ЛОМО, у всех просмотренных монацитов наблюдается хорошо заметная широкая полоса поглощения примерно в пределах 575-593 нм, состоящая обычно из трех сближенных линий абсорбции, соответствующих спектральным линиям лантана в 576, 577 и 593 нм [Калинин и др., 1956]. Две хорошо заметные линии поглощения в зеленой области спектра в интервале около 510-535 нм могут быть связаны со спектральными линиями лантана в 518 и 527 нм, и, видимо, церия (535 нм) или нео-

Таблица 2

Химический состав флоренсита, мас. %

Компоненты	1	2	3	4	5	6
La ₂ O ₃	9,52	8,75	8,76	7,12	6,68	13,20
Ce ₂ O ₃	14,79	14,58	16,41	12,71	13,77	14,72
Pr ₂ O ₃	1,12	1,42	2,15	1,13	1,40	1,19
Nd ₂ O ₃	4,53	4,74	5,03	4,03	4,41	2,21
ThO ₂	0,64	0,54	0,47	0,99	0,86	—
SrO	—	—	—	—	—	1,66
CaO	0,70	0,84	0,33	1,67	1,69	0,29
FeO	0,55	1,25	—	4,01	—	—
BaO	0,45	0,61	—	—	1,05	—
PbO	—	1,35	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	28,51	28,17	28,64	29,17	30,08	29,18
SO ₃	—	—	—	1,02	—	—
P ₂ O ₅	27,45	27,09	27,56	26,22	26,66	28,86
Сумма	88,26	89,34	89,35	88,07	86,60	91,31

Примечание. 1-6 – флоренсит из русловых отложений (1, 2 – р. Б. Авняр, 3-5 – р. Миселя, 6 – р. М. Авзян).

дима (529 нм), являющихся основными редкоземельными элементами для изученных монацитов (табл. 1). Иттриевый фосфат ксенотим характеризуется присутствием хорошо заметных линий поглощения в зеленой и красной областях видимой части спектра. В зеленой части спектра размытые линии абсорбции располагаются в интервале 510-560 нм и могут соответствовать линиям 509, 520, 547, 553 и 558 нм иттрия и 555 нм иттербия; в красной части спектра присутствуют тонкие, близко расположенные линии в интервале примерно 640-670

нм, которые могут быть обусловлены иттрием и эрбием [Калинин и др., 1956]. В видимой части спектра для крупных и прозрачных зерен флоренсита слабые линии намечаются на границе красной и желтой областей спектра и в интервале 510-530 нм.

Микронзондовые анализы редкоземельных фосфатов выполнены на микроанализаторе JEOL-733 Е.И. Чуриным в Институте минералогии (г. Миасс) УрО РАН. Составы изученных редкоземельных фосфатов существенно не отличаются от фосфатов из других местонахож-

Таблица 3

Химический состав ксенотима, мас. %

Компоненты	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	1,66	1,70	1,61	2,10	1,87	1,90
P ₂ O ₅	36,19	37,72	37,19	37,80	37,86	37,40
Y ₂ O ₃	36,24	41,82	40,75	44,32	43,92	43,32
Sm ₂ O ₃	—	—	0,25	—	—	—
Gd ₂ O ₃	2,09	2,02	3,25	1,33	0,93	1,84
Tb ₂ O ₃	0,40	0,34	0,99	—	0,24	—
Dy ₂ O ₃	5,59	6,21	6,80	4,91	4,22	5,73
Ho ₂ O ₃	1,78	1,64	1,41	1,25	1,58	1,66
Er ₂ O ₃	5,65	4,46	3,60	3,99	3,94	3,92
Yb ₂ O ₃	8,69	3,63	3,59	4,28	4,13	3,31
Lu ₂ O ₃	1,72	—	—	—	—	—
UO ₃	0,34	—	—	—	0,67	—
Сумма	100,35	99,54	99,44	99,98	99,36	99,08

Примечание. 1-6 – ксенотим из русловых отложений (1 – р. Тыгын; 2 – р. Б. Авняр; 3 – руч. Авалякский; 4, 5 – р. Миселя; 6 – р. В. Мата).

дений монацита различного происхождения [Геохимия..., 1964]. Анализы монацитов (табл. 1) из коренных пород и русловых отложений отличаются присущей для этого минерала высокой обогащенностью легкими лантаноидами и следующим характером распределения: $Ce > La > Nd$, реже $Ce > Nd > La$. В отдельных анализах монацита содержание ThO_2 достигает 8 % и иногда в отдельных точках минерала – 15 %; содержания ThO_2 и CaO связаны положительной корреляционной зависимостью, что свидетельствует о присутствии в некоторых монацитах существенной доли чералитового минала. Флоренситы из русловых отложений также содержат $Ce > La > Nd$ при низких (обычно менее 1-2 %) содержаниях CaO , FeO , BaO и PbO и почти постоянном присутствии небольших количеств ThO_2 (табл. 2). Повышенные содер-

жания в ксенотиме имеют диспрозий, иттербий и эрбий при преобладании первого (табл. 3).

По суммарному содержанию РЗЭ (120-176 г/т) и характеру их распределения с сильным обогащением легкими элементами ($La/Yb = 12-20$), филлитизированные глинистые сланцы и алевролиты рифея с акцессорным монацитом из коренного проявления (табл. 4) весьма близки к глинам и глинистым сланцам различных регионов Земли и, в том числе, к глинам Русской платформы [Мигдисов и др., 1994], что может рассматриваться как косвенное, но реальное подтверждение метаморфогенного происхождения редкоземельных фосфатов как в коренных породах, так и в аллювиальных отложениях региона. Кроме того, метаморфогенное и предположительно метаморфогенно-гидротермальное происхождение

Таблица 4

Химический состав (мас. %) метатерригенных пород с акцессорным монацитом
и содержания в них редкоземельных элементов (г/т)

Компоненты	1	2	3	4
SiO_2	61,95	64,00	63,00	70,00
TiO_2	1,15	2,81	0,88	0,76
Al_2O_3	14,40	13,00	14,54	12,10
$Fe_2O_3^*$	11,20	11,50	11,40	8,20
MgO	2,80	2,60	2,60	1,80
CaO	0,28	0,28	1,56	0,28
Na_2O	0,30	0,54	1,54	0,30
K_2O	4,33	3,75	3,09	3,33
P_2O_5	0,05	0,04	0,23	0,03
П.п.п.	2,94	1,90	0,80	2,54
Сумма	99,40	100,42	99,64	99,34
Y	11,54	7,43	21,90	14,29
La	30,08	25,63	34,57	7,56
Ce	58,92	52,88	60,57	15,41
Pr	7,74	6,96	10,10	2,07
Nd	26,13	24,12	42,13	7,76
Sm	4,73	4,43	8,25	2,03
Eu	0,86	0,86	1,69	0,62
Gd	4,02	2,58	6,13	2,53
Tb	0,61	0,32	0,81	0,39
Dy	2,79	1,36	4,87	2,27
Ho	0,60	0,33	1,01	0,58
Er	1,55	0,98	2,90	1,70
Tm	0,23	0,17	0,42	0,30
Yb	1,56	1,24	2,77	2,07
Сумма РЗЭ	139,82	121,86	176,22	42,76

Примечание. 1-3 – филлитизированные глинистые сланцы; 4 – алевролит глинистый филлитизированный. Химические анализы выполнены в химлаборатории Института геологии Уфимского научного центра РАН, аналитик С.А. Ягудина, ICP-MS-анализы РЗЭ – в Институте геологии и геохимии Уральского отделения РАН. $Fe_2O_3^*$ – общее железо в виде Fe_2O_3 .

редкоземельных фосфатов восточной подзоны Башкирского мегантиклинория обосновывается следующими фактами: тесной пространственной совмещенностью ареала развития обломочных неокатанных зерен РЗЭ-фосфатов с зоной развития метаморфических пород рифея и венда, расположенной восточнее Юрюзано-Зюраткульского глубинного разлома (рис. 1); повсеместной ассоциацией монацита, ксенотима и флоренсита в тяжелой фракции шлихов аллювиальных отложений с минералами метаморфических пород – альмандином, биотитом, турмалином, рутилом, ильменитом, цоизитом, хлоритоидом; наличием монацита и ксенотима в элювии кристаллических сланцев; частым присутствием в фосфатах в виде включений углистого и рудного материала; намечающейся зональностью в распространении фосфатной минерализации, связанной развитием флоренсита и серого призматического монацита в области развития пород низкой (филлитовой и зеленосланцевой) ступеней метаморфизма и таблитчатого, более крупного монацита и ксенотима – в участках распространения пород средней и высокой ступеней метаморфизма. Подобная зональность дополняется выявлением в почти не метаморфизованных глинистых гидрослюдистых сланцах и алевролитах рифея центральной части Башкирского мегантиклинория пока детально не изученных мелких (до 0,5-0,7 мм) непрозрачных эллипсоидальных стяжений, видимо, рабдофанита, при усилении метаморфизма до зеленосланцевой фации переходящего в монацит [Сердюченко, 1985].

Проявления описанных в статье редкоземельных фосфатов в коренных породах и аллювиальных отложениях речных долин западного склона Южного Урала представляют новый,

ранее неизвестный в регионе, тип редкоземельной минерализации, пока в целом не имеющей практического интереса, хотя аллювиальные отложения в отдельных участках речных долин могут представлять очень бедные монацитосодержащие россыпи.

Список литературы

- Алексеев А.А., Алексеева Г.В., Тимофеева Е.А.* Монацитовая минерализация и перспективы редкоземельного оруденения в рифейских отложениях Башкирского мегантиклинория // Геология, полезные ископаемые и проблемы экологии Башкортостана. Т. 2. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2003. С. 112-115.
- Беккер Ю.Р.* Литологические особенности олигомиктовых пород девона алмазонасных районов Южного Урала // Геология и полезные ископаемые Урала и Тургай. Л.: ВСЕГЕИ, 1960. С. 73-102.
- Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т. II. Минералогия рудных элементов. М.: Наука, 1964. 830 с.
- Калинин С.К., Наймарк Л.Э., Марзуванов В.Л., Исмагулова К.И.* Атлас спектральных линий для стеклянного спектрографа. М.: Госгеолтехиздат, 1956. 47 с.
- Кухаренко А.А.* Минералогия россыпей. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 118 с.
- Мигдисов А.А., Балашиов Ю.А., Шарков И.В. и др.* Распространенность редкоземельных элементов в главных литологических типах пород осадочного чехла Русской платформы // Геохимия. 1994. № 6. С. 789-803.
- Орлова М.Т.* Акцессорные минералы древних немых толщ западного склона Южного Урала // Геология и полезные ископаемые Урала. Л.: ВСЕГЕИ, 1960. С. 31-43.
- Сердюченко Д.П.* Метаосадочные монациты на последовательных этапах метаморфических преобразований // Проблемы экзогенного и метаморфогенного пороодо- и рудообразования. М.: Наука, 1985. С. 187-197.

Рецензент доктор геол.-мин. наук Г.А. Мизенс