



## ЛИТОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЛОЖЕНИЙ КАРСТОВОЙ ФОСФОРИТОВОЙ ЗАЛЕЖИ ХАРАНУРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮГО-ВОСТОЧНЫЕ САЯНЫ)

В. М. Бугина<sup>1</sup>, Я. Э. Юдович<sup>2</sup>, М. П. Кетрис<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, Москва  
vika13718@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар  
yudovich@geo.komisc.ru

Актуальность статьи определяется дефицитом фосфорных удобрений в Сибирском федеральном округе, притом что потенциально промышленные месторождения коренных и вторичных (карстовых) фосфоритов Окино-Хубсугульско-го бассейна на юге Бурятии остаются еще недостаточно изученными. Для выяснения минералого-вещественных особенностей карстовых фосфоритов Харанурского месторождения, пригодных для производства фосфорной муки, впервые проведено послойное литохимическое изучение разреза карстовой рудной залежи. На основании обработки 53 силикатных анализов фосфатных пород и руд выделено 10 средних составов-кластеров, существенно уточняющих литологические характеристики этих природных образований.

**Ключевые слова:** карстовые фосфориты, фторкарбонатапатит, железо- и алюмофосфаты, литохимия.

## LITOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF KARST PHOSPHORITES OF HARANURSKOE DEPOSIT (SOUTH-EASTERN SAYANS)

V. M. Bugina<sup>1</sup>, Ya. E. Yudovich<sup>2</sup>, M. P. Ketris<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Peoples Friendship University, Moscow

<sup>2</sup>Institute of Geology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The benefits of the article are defined by the deficiency of phosphate fertilizer in Siberia region. Deposits of bedrock and secondary (karst) phosphorites of Oka-Khubsugul basin (Southern Buryatia) that may have industrial significance are still underexplored. Mineralogical and material aspects of karst phosphorites of Haranurskoe deposit that could be able to produce phosphate fertilizer are discussed. Lithochemical layer-by-layer investigation of the karst ore body is accomplished for the first time. 10 clusters, based on the 53 quantitative analysis of oxides, were chosen. It helped to specify litological characteristics of those natural objects.

**Keywords:** karst phosphorites, carbonate-fluoroapatite, iron- and aluminium-bearing phosphate, lithochemical properties, lithochemistry.

Проблема дефицита фосфорных удобрений в Сибирском федеральном округе, и в том числе в Республике Бурятия, стоит весьма остро. Поэтому важное значение приобретает местная минерально-сырьевая база фосфатов, способная уменьшить зависимость региона от поставок кольских апатитов. Фосфоритная мука — самое дешевое и эффективное на кислых почвах фосфорное удобрение пролонгированного действия. В Сибири качественным сырьем для её получения являются карстовые фосфориты, что было установлено еще в прошлом веке при изучении Обладжанского, Сейбинского, Сарминского месторождений Красноярского края и Иркутской области. Промышленно значимые скопления карстовых руд известны также в Бурятии в горах ЮВ-Саян, где в пределах крупного Харанурского месторождения коренных фосфоритов известна залежь вторичных карстовых руд [1].

Здесь между сбросовыми нарушениями, вдоль контакта карбонатных и вулканогенно-терригенных отложений забитской и сархойской свит венда закартирована линейная карстовая полость субширотного простирания длиной 3.2 км, шириной 150—650 м и глубиной от 20 до более 100 м. С севера она ограничена выходами коренных

фосфоритов и светлоокрашенных доломитов; с юга — толщей углеродистых известняков, сланцев и доломитов. Полость заполнена обвальным глыбово-щебневым материалом и разнообразными флювиальными осадками смешанного гранулометрического состава (от гравия и дресвы до суглинков и супесей с прослоями песков, алевроитов и глин). Среди обломков резко доминируют черные и светлые кремни, часто сохранившие реликтовые структуры онколитовых или слойчатых доломитов. Значительно реже встречаются кремнистые, сланцевые и мономинеральные фосфориты. Помимо этого также развиты фрагменты диоритовых дайковых пород, от слабо выветрелых до превращенных в песчано-глинистую массу. Карбонатный материал не характерен и отмечается в редких случаях.

Помимо выщелачивания и выветривания (включая маршаллизацию силицитов) активную роль в формировании карстовых отложений играли инфильтрационные и метасоматические процессы, последовательность которых отразилась в минеральной и вертикальной зональности карстовой залежи. *Окремнение* опережало выщелачивание и затрагивало карбонатные и фосфатные породы, *фосфатизация* сопровождала выщелачивание и накладывалась

на доломитовые останцы, в результате чего формировались блоки плотных инфильтрационно-метасоматических фосфоритов. *Маршаллизация* следовала за выщелачиванием и разрушала кремни и кремнистые фосфориты. Особенно интенсивно она проявлялась в верхней зоне карста, где происходило диспергирование кремнистых пород в светло-серые кварцевые и апатит-кварцевые алевриты. *Ожелезнение*, в противоположность маршаллизации, приурочено к низам разреза и представлено линзами плотных фосфатно-железистых руд с содержанием 35–60 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и 10–15 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Залежь формировалась в три этапа. В меловое время карстообразование сопровождалось накоплением вторичных фосфоритов. В палеогене (?) она активно разрушалась крупным водотоком, после которого в глубоких врезах сохранились полимиктовые валунно-галечные конгломераты мощностью до 20 м. В миоцен (?)–четвертичное время, очевидно, происходило дальнейшее формирование залежи, поскольку конгломераты подверглись интенсивному выветриванию и превратились в сыпучий глинисто-песчаный материал.

В контурах залежи выделяется от одного до четырех рудных тел причудливой конфигурации с резко изменчивым распределением полезного компонента (от 7 до 27 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), значительными вариациями мощностей (0.5–20 м) и сложными взаимоотношениями разновидностей фосфоритов. Последние визуально не отличаются от вмещающих пород и представлены как рыхлыми, так и сцементированными отложениями, окрашенными в светло-серые, желтоватые, бурые либо коричневые оттенки. По текстурным особенностям они могут быть полосчато-слоистыми, обломочными либо с монотонно-однородным строением. По минеральному составу среди них различаются кремнисто-глинистые, глинисто-кремнистые, кремнистые и мономинеральные разновидности, которые относятся к остаточному и инфильтрационно-метасоматическому генетическому типу карстовых руд. В первом случае фосфат фторапатитовый ( $a = 9.37 \text{ \AA}$ ;  $c = 6.892 \text{ \AA}$ ), во втором — фторкарбонатапатитовый ( $a = 9.35 \text{ \AA}$ ;  $c = 6.895 \text{ \AA}$ ) с хорошо выраженными в ИК-спектрах колебаниями  $\text{CO}_3^{2-}$ -групп и  $\text{OH}^{-1}$ -ионов [2].

Другая минеральная форма фосфора в виде железофосфатов предполагается в железистых фосфоритах, что фиксируется нормативными пересчетами по значительному дефициту CaO относительно  $\text{P}_2\text{O}_5$ . С целью получения дополнительной информации о вещественном составе карстовых фосфоритов нами произведена литохимическая обработка [5] 53 силикатных анализов керновых проб скважин № 23 (56.9 м) и 24 (45 м) [3], пробуренных соответственно в центральной и восточной частях карстовой залежи.

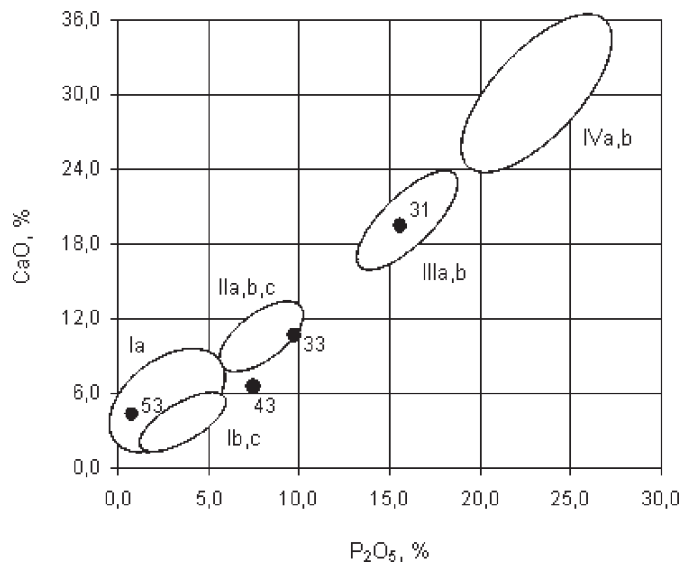
График  $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{CaO}$  (см. рисунок) показывает, что большинство фигуративных точек ложатся в единую полосу тренда, отвечающую  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO} = 0.78 \pm 0.20$ .

Это позволяет нам объединить анализы обеих скважин в единую совокупность. Поскольку в апатите указанное отношение теоретически равно 0.76, то в выделенной совокупности карстовых фосфоритов фиксируется избыток фосфата относительно CaO. Очевидно, данный факт указывает на присутствие в пробах помимо кальциевых

фосфатов также железо- и, возможно, алюмофосфатов (?). В тех же более редких случаях, когда величина  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO}$  меньше, чем 0.76, можно предполагать наличие карбонатов. К сожалению, отсутствие определений  $\text{CO}_2$  не позволяет утверждать это с уверенностью.

Выясняется, что содержание фосфата ( $\text{P}_2\text{O}_5$ , %) не коррелируется с валовым химическим составом отложений, поэтому использование обычных модульных диаграмм (например, диаграммы «Щелочи — ГМ») [5] для карстовых фосфатных пород оказалось неэффективным. После ряда попыток для кластеризации совокупности было выбрано только содержание фосфата кальция, т. е. уже упомянутая диаграмма  $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{CaO}$ . В итоге выделено 10 средних составов-кластеров, а 4 пробы усреднению не подлежат (см. таблицу, рисунок).

**Кластеры Ia, Ib, Ic** отвечают породам с минимальным содержанием пятиокси фосфора (в среднем 2.4–3.4 %). Согласно существующим литологическим нормам, где нижней границей «фосфоритов» принята величина  $\text{P}_2\text{O}_5 = 7 \%$ , породы этих кластеров аттестуются как «фосфатсодержащие». В литохимическом отношении кластеры **Ia** и **Ic** характеризуются как *силиты* ( $\text{ГМ}^1 = 0.05$  и  $0.33$ ,  $\text{ЖМ}^1 = 1.68$  и  $7.37$ ) [5]. При этом для кл. **Ia** характерно невысокое содержание Fe и глинозема при повышенных значениях титанового модуля  $\text{ТМ}^1$ , тогда как для пород кл. **Ic** определяющей особенностью становится обилие оксидов железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 15.8 \%$ ). Поэтому среди фосфатсодержащих силитов различаются обычные и сильно железистые разновидности (см. таблицу). Поскольку для самого многочисленного кластера силитов (**Ia**) типичны минимальные значения  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{CaO} = 0.60$ , то, по-видимому, здесь следует ожидать также примесей карбонатов. Породы кластера **Ib** относятся к нормальным *сиаллитам* ( $\text{ГМ} = 0.43$ ,  $\text{ЖМ} = 0.40$ ) [5]. В их железисто-глинистых разностях отмечается явный избыток глинозема<sup>2</sup> по отношению к щелочам



Положение фосфатсодержащих пород карстовой залежи в координатах CaO —  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Построено по данным таблицы

Location of karst phosphates in CaO —  $\text{P}_2\text{O}_5$  coordinates. Built according to Table

<sup>1</sup> Модули:  $\text{ТМ} = \text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{ГМ} = (\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/\text{SiO}_2$ ;  $\text{ЖМ} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})/(\text{TiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ , [4].

<sup>2</sup> В обычных гидрослюдах отношение  $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{K}_2\text{O}$  около 3 : 1, тогда как здесь получается около 5.6 : 1.



## Химический состав фосфатсодержащих пород карстовой залежи

## Chemical composition of karst phosphates

Оксиды и модули Oxides and modules	Кластеры / Clusters											Составы вне кластеров / Beyond clusters																								
	Ia			Ib			Ic			IIa		IIIb		IVa		IVb		31		33		43		53												
	Силицит фосфатсодержащий Phosphate silicite	Глина железистая фосфатсодержащая Phosphate ferrous clay	Силицит железистый фосфатсодержащий Phosphate ferrous silicite	Фосфорит кремнистый Siliceous phosphorite	Фосфорит железистый Ferrous phosphorite	Фосфорит железистый кремнистый Ferrous siliceous phosphorite	Фосфорит марганцовистый Manganese ferrous phosphorite	Фосфорит марганцовистый железистый Manganese ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый Siliceous phosphorite	Фосфорит марганцовистый Manganese ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый Siliceous phosphorite	Фосфорит марганцовистый Manganese ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый Siliceous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Фосфорит кремнистый железистый Clay-ferrous phosphorite	Силицит фосфатсодержащий с карбонатом Phosphate silicite with carbonate									
n	17	3	3	4	4	4	4	4	4	4	2	6	3	60.90	68.54	34.58	80.98																			
SiO <sub>2</sub>	82.56	55.80	67.03	76.25	36.10	42.23	26.32	33.17	18.84	60.90	68.54	34.58	80.98																							
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.60	0.19	0.13	0.11	0.32	0.15	0.06	0.19	0.08	0.24	0.42	0.02																							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.46	16.75	2.43	1.85	2.33	3.46	3.53	1.88	4.36	1.62	5.08	10.24	0.76																							
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.61	6.38	15.80	0.85	31.70	7.38	27.07	2.95	13.09	0.74	1.21	27.15	3.23																							
FeO	2.07	0.44	2.80	0.65	0.29	0.57	0.00	0.18	0.00	0.34	0.20	0.00	2.70																							
MnO	0.04	0.06	0.76	0.04	0.44	0.92	1.12	0.30	2.57	0.03	0.03	0.35	0.36																							
MgO	1.30	1.69	1.42	1.55	1.13	1.80	0.92	1.23	1.42	0.16	0.96	1.43	2.03																							
CaO	5.76	3.34	3.19	9.50	10.95	21.13	17.46	30.56	28.04	19.17	11.10	6.52	4.63																							
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.42	0.13	0.10	0.06	0.14	0.08	0.15	0.13	0.05	0.05	0.09	0.10																							
K <sub>2</sub> O	0.20	3.00	0.42	0.22	0.39	0.99	0.64	0.57	0.84	0.17	0.71	1.92	0.11																							
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3.44	3.41	2.37	7.45	8.88	16.47	14.54	24.69	22.00	15.26	9.65	7.48	1.00																							
ppm poi	1.88	7.85	3.30	1.47	7.59	4.27	7.98	4.12	8.34	1.20	2.20	9.76	3.98																							
SO <sub>3</sub>	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00																							
Сумма Total	99.62	99.73	99.83	100.07	99.95	99.67	99.80	99.90	99.82	99.72	99.97	99.94	99.90																							
ГМ	0.05	0.43	0.33	0.05	0.97	0.30	1.21	0.16	1.07	0.05	0.10	1.10	0.09																							
ТМ	0.106	0.036	0.079	0.070	0.046	0.091	0.042	0.034	0.044	0.049	0.047	0.041	0.026																							
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /CaO	0.60	1.02	0.74	0.78	0.81	0.78	0.83	0.81	0.78	0.80	0.87	1.15	0.22																							



( $Al_2O_3 = 16.75\%$ ,  $K_2O = 3.00\%$ ,  $Na_2O = 0.42\%$ ). Такие показатели при весьма ощутимой величине потерь при прокаливании (ппп) —  $7.85\%$  (см. таблицу) вынуждают предполагать присутствие в указанных разностях наряду с гидрослюдой каолинита.

**Кластеры IIa, IIb, IIc** охватывают более фосфатные породы, в том числе низкокачественные фосфориты (**IIa** и **IIc**): в среднем  $P_2O_5 = 6.7–8.9\%$  (см. таблицу). В литохимическом отношении **IIa, IIb** аттестуются как *силиты* ( $GM = 0.05–0.12$ ), **IIc** — как *железистый гидролизат* ( $GM = 0.97$ ,  $Fe_2O_3 = 31.7\%$ ) [5]. Для фосфатсодержащих силитов кластера **IIb** вновь отмечается пониженное против нормы количество пятиоксида фосфора, что фиксируется по значению  $P_2O_5/CaO = 0.69$ . Это позволяет предполагать наличие в минеральном составе силицитов карбонатной составляющей, вероятно сохранившейся после окремнения доломитов, среди которых заключена карстовая залежь.

**Кластеры IIIa, IIIb** отвечают рядовым фосфоритам со средним содержанием  $P_2O_5 = 14.5–16.5\%$ . В литохимическом отношении первый аттестуется как *сиаллит* на границе с *силитами* ( $GM = 0.30$ ), тогда как второй является *железистым гидролизатом* ( $GM = 1.21$ ,  $Fe_2O_3 = 27.07\%$ ). Особенностью этих кремнистых и железистых фосфоритов является повышенное содержание марганца:  $MnO$  в среднем  $0.92–1.12\%$  до  $1.58\%$  в пробе 17 — вторичного слабоуплотненного кремнистого фосфорита с глубины  $36.7$  м в скв. 23. При этом обычное допущение о карбонатной форме марганца как будто противоречит высокой величине  $P_2O_5/CaO = 0.83$ . Однако при наличии в породах железофосфатов карбонатная форма марганца вполне вероятно. В железистых фосфоритах кластера **IIIb** вновь отмечается некоторый избыток глинозема над калиевой щелочью ( $Al_2O_3 = 3.53\%$ ,  $K_2O = 0.64\%$ ), что позволяет предположить присутствие каолинита.

**Кластеры IVa, IVb** отвечают богатым фосфоритам со средним содержанием  $P_2O_5 = 22–25\%$ . В литохимическом отношении эти породы аттестуются уже как *фосфатолиты*, первые нормальные, а вторые железистые и повышено-марганцовистые ( $Fe_2O_3 = 13.09$ ,  $MnO = 2.57\%$ ). В пробах 22 и 27 из скв. 24 ( $33.7$  и  $41.0$  м) содержания  $MnO$  и  $Fe_2O_3$  достигают соответственно  $2.90$  и  $18.36\%$ . Здесь уже о карбонатной форме марганца можно говорить более уверенно, поскольку обломки карбонатных пород были установлены и при описании керна. Одновременно с этим отметим литохимическую особенность кластера **IVb** — представленные в нем породы являются фосфатолитами ( $P_2O_5 = 22\%$ ), но их нефосфатная часть аттестуется как гидролизат ( $GM = 1.07$ ). Такое сочетание объясняется высокими содержаниями  $Fe_2O_3$  ( $13.09\%$ ) при почти несомненном присутствии здесь такого гидролизатного продукта, как каолинит ( $Al_2O_3 = 4.36$ ,  $K_2O = 0.84\%$ ).

**Не подлежат усреднению пробы 31, 33, 43 и 53.** При этом фосфориты — кремнистый и глинисто-кремнистый (**31** и **33**), а также силит карбонатный фосфатсодержащий (**53**) оказываются в контуре кластеров, тогда как точка фосфорита глинисто-железистого (**43**) выскакивает за пределы соседних кластеров **I** и **II** (см. рисунок). От первых порода отличается повышенной фосфатностью ( $P_2O_5 = 7.48$  против  $2.37–3.44\%$ ), а от вторых — пониженной кальциевостью ( $CaO = 6.52$  против  $9.50–10.95\%$ ). Эта порода (скв. 24, гл.  $37.0$  м) литохимически аттестуется как *гидролизат* ( $GM = 1.10$ ) и должна содержать каолинит ввиду большого избытка глинозема ( $Al_2O_3 = 10.24$ ,  $K_2O = 1.92\%$ ).

При этом максимальное во всей аналитической совокупности значение отношения  $P_2O_5/CaO = 1.15$  указывает на присутствие здесь железофосфатов, что согласуется с очень высокой железистостью породы ( $Fe_2O_3 = 27.15\%$ ).

Анализ выявленных литохимических групп (кластеров) карстовой залежи позволяет сделать ряд выводов.

1. Формирование карста происходило «на фосфорном геохимическом фоне», что нашло отражение в развитии во всех литотипах примесной (кластер **I**) или основной (кластеры **III, IV**) фосфатной минерализации, представленной кальциевыми, железо- и алюмофосфатами.

2. Литохимический анализ фосфоритов (кластеры **IIa, III, IV**, а также пробы 31, 33, 43) позволяет разделить их на две совокупности: железистые ( $GM = 0.97–1.21$ ,  $Fe_2O_3 = 13.09–31.7\%$ ) и маложелезистые ( $GM = 0.05–0.30$ ,  $Fe_2O_3 = 0.85–7.38$ ). Эти литохимические разновидности формируют два яруса залежи. Первые (кл. **IIc, IIIb, IVb**, а также проба 43) концентрируются в ее основании и представляют собой плотные бурые породы. Они сложены фосфатами  $Ca$ ,  $Fe$  и, возможно,  $Al$ , которые в разных пропорциях сочетаются с глинистыми (гидрослюда, каолинит), кремнистыми, железогидроокисными и окисными минералами. Помимо этого здесь также отмечается карбонатная марганцевая минерализация ( $MnO$  до  $2.57\%$ ). Второй фосфатный породный комплекс (кл. **IIa, IIIa, IVa**, а также пробы 31, 33) образован слабосвязанными либо рыхлыми светлоокрашенными отложениями, которые локализируются в кровле карстовой залежи. Здесь кальциевые фосфаты находятся в ассоциации с безжелезистыми, преимущественно кремнистыми минералами, а среди глинистых отсутствует каолинит.

3. В двухъярусное устройство залежи хорошо вписывается положение в разрезе других, но уже не фосфоритовых породных кластеров: железистых — внизу, маложелезистых — сверху. Таким образом, выделенные группы-кластеры формировались соответственно в гидролизно-окислительной и восстановительной обстановках.

4. Не вызывает сомнений, что железистые гидролизаты и сопровождающие их фосфатные соединения относятся к инфильтрационным образованиям, приуроченным к геохимическому барьеру, связанному с кислородными трещинными водами в подошве залежи. На химический механизм осаждения вещества этих кластеров указывают микроструктуры соответствующих пород. В шлифах это глинистая и алевритовая масса, насыщенная бурыми коллоидами железа с разводами по типу колец Лизеганга. Гидролиз сопровождал садку железистых и фосфатных соединений, формировал каолинит и способствовал сорбционному захвату коллоидами фосфат-ионов, что вело к образованию алюмо- и железофосфатов.

5. Ассоциация пород восстановительной обстановки складывалась, очевидно, под воздействием промывного гидролиза. Вначале разрушался силикатный и алюмосиликатный обломочный материал с накоплением продуктов маршаллизации и гидратированных глинистых минералов. Одновременно растворялись обломки фосфоритов; часть растворенных фосфатов вовлекалась в миграцию, другая участвовала в трансформации фторопатита во франколит и, возможно, в пока неясную минералогическую фазу фосфата, присутствие которой улавливается в маложелезистых литотипах по несколько повышенным значениям  $P_2O_5/CaO$  ( $0.78–0.87$ ). Таким образом, в отличие от инфильтрационных рудных тел в основании карстовой



залежи здесь карстовые фосфориты генетически являются остаточными образованиями, испытавшими активное воздействие гипергенных процессов, сопровождавшихся растворением, перекристаллизацией и местным переотложением фосфатного вещества. Устойчивый восстановительный режим утвердился при заболачивании карстовой залежи, что вызвало осветление пород вследствие выноса марганцовистых и железистых соединений.

6. Характерной чертой самого многочисленного кластера фосфатных силитов (*Ia*) является доминирование закисного железа над окисным, что может указывать на присутствие в маршаллитах дисперсной сульфидной минерализации. Возможность такой минерализации согласуется с недавно установленной бурятскими геологами промышленной золотоносностью карстовой залежи [4].

7. Изученные карстовые фосфориты вполне годятся в качестве сырья для изготовления дефицитного в нашей стране удобрения — фосфорной муки.

### Литература

1. Георгиевский А. Ф. Харанурское месторождение фосфоритов // Литология и полезные ископаемые. 1986. № 4. С. 71—86.
2. Георгиевский А. Ф. Особенности фосфоритов Юго-Восточных Саян // Вестник РУДН. 2005. № 2. С. 117—120.
3. Кокунин В. В., Важенина Е. В. Состояние изученности и геологическое строение Харанурского и Боксонского месторождений фосфоритов: Материалы к ТЭО о дальнейшем направлении геологоразведочных работ на

месторождениях фосфоритов в Восточном Саяне / Фонды ПГО «Бурятгеология». Улан-Удэ, 1981.

4. Миронов А. А. Геологическое строение и поисковая модель Харанурского месторождения золота в корях выветривания, Восточные Саяны // Руды и металлы. 2014. № 3. С. 27—33.

5. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

### References

1. Georgievskij A. F. *Haranurskoe mestorozhdenie fosforitov* (Haranurskoe phosphorite deposit). *Litologiya i poleznye iskopaemye* (Lithology and Mineral Resources). 1986, No. 4, pp. 71—86
2. Georgievskij A. F. *Osobennosti fosforitov Yugo-Vostochnyh Sayan* (Special aspects of phosphorites of South-Eastern Sayan). *Bulletin of Russian Peoples Friendship University*. No. 2, 2005, pp. 117—120.
3. Kokunin V. V., Vazhenina E. V. *Sostoyanie izuchennosti i geologicheskoe stroenie Haranurskogo i Boksonskogo mestorozhdenii fosforitov* (Exploration degree and geological structure of Haranurskoe and Boksonskoe phosphorites deposits). Ulan-Udai, 1981.
4. Mironov A. A. *Geologicheskoe stroenie i poiskovaya model Haranurskogo mestorozhdeniya zolota v korah vyvetrivaniya, Vostochnye Sayany* (Geological structure and prospecting model of gold deposit in weathering crust, Eastern Sayan). *Ores and metals*. Moscow, 2014, No. 3, pp. 27—33
5. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Osnovy Litohimii* (The Principles of Lithochemistry). St. Petersburg, Science, 2000, 479 p.