

© Д. чл. Н. В. ЗАЯКИНА

**КРАНСВИКИТ —  
РЕДКИЙ ЧЕТЫРЕХВОДНЫЙ СУЛЬФАТ МАГНИЯ  $\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  
НОВАЯ НАХОДКА В ЯКУТИИ**

*Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН,  
677980, Якутск, пр. Ленина, 39;  
e-mail: n.v.zayakina@diamond.yasn.ru*

Крансвикит — редкий четырехводный сульфат магния  $\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  был обнаружен в пиритизированных осадочных породах на Мало-Тарынском золоторудном месторождении в Якутии. Третья находка в мире, вторая в Якутии. Минерал мягкий, образует корку белого чуть серого цвета на поверхности породы. Находится в ассоциации со слюдой, хлоритом, кварцем, гипсом, пентагидритом. Исследование выполнено методами рентгенофазового и электронного микрозондового анализов. Химический состав минерала  $\text{MgO}$  — 20.12,  $\text{SO}_3$  — 43.50,  $\text{H}_2\text{O}$  — 36.37 мас. %. Эмпирическая кристаллохимическая формула минерала  $\text{Mg}_{0.99}(\text{SO}_4)_{1.08} \cdot 4.02\text{H}_2\text{O}$ . Минерал гипергенный, образуется, вероятно, при окислении пирита сульфидизированных пород. Достаточно устойчив при хранении в лабораторных условиях. Приведены фото и рентгенограмма образца.

*Ключевые слова:* крансвикит,  $\beta$ -старкеит, сульфаты магния, рентгенофазовый, электронно-зондовый анализы, Якутия.

*N. V. ZAYAKINA. CRANSWICKITE —  
A RARE TETRAHYDRATE SULFATE OF MAGNESIUM  $\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  
THE NEW FIND IN YAKUTIA*

*Diamond and Precious Metal Geology Institute,  
Siberian Branch RAS, Yakutsk, Russia*

Cranswickite — a rare tetrahydrate magnesium sulfate,  $\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , has been discovered in the Malo-Tarynskoe gold ore deposit in Yakutia. It is its third find in the world, the second in Yakutia. The mineral is soft, it forms a crust of white and slightly grayish color on the rock surface. It associates with mica, chlorite, quartz, gypsum and pentahydrate. Its study has been carried out by X-ray phase and electron microprobe analyses. Its chemical composition is  $\text{MgO}$  — 20.12,  $\text{SO}_3$  — 43.50,  $\text{H}_2\text{O}$  — 36.37 wt %. The empirical crystal chemical formula of the mineral is  $\text{Mg}_{0.99}(\text{SO}_4)_{1.08} \cdot 4.02\text{H}_2\text{O}$ . The mineral is hypergenic, it is formed probably due to oxidation of pyrite in sulfidized rocks. It is sufficiently stable while stored in laboratory conditions. The photograph and X-ray diffraction pattern of the sample are given in the paper.

*Key words:* cranswickite,  $\beta$ -starkeyite, magnesium sulfates, X-ray phase, electron probe analyses, Yakutia.

Якутия в силу своих климатических особенностей — близкого к аридно-му климата, является почти идеальным местом для находок весьма нестойких минералов класса сульфатов, а точнее, водных сульфатов или сульфат-фосфат-арсенатов Al, Mg, Fe. Аналоги некоторых известны только в зонах пустынь. В разные годы на территории Якутии были обнаружены следующие достаточно редкие минералы: санхуанит  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{PO}_4)(\text{OH}) \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  (Лазебник и др., 1998), мангазеит  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (Гамянин и др., 2006), арангасит  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{PO}_4)\text{F} \cdot 7.5\text{H}_2\text{O}$  (Гамянин и др., 2013), амарантит  $\text{Fe}_3(\text{SO}_4)(\text{OH}) \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , мета-алюминит  $\text{Al}_2\text{SO}_4(\text{OH})_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , мета-алуноген  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ , тамаругит  $\text{NaAl}(\text{SO}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , пиккерингит  $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ , неизвестный водный

сульфат Fe, состав которого аналогичен составу бутлерита и парабутлерита  $\text{Fe}(\text{SO}_4)(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (Кудрин и др., 2018).

Ранее автором совместно с К. А. Лазебник при просмотре минералогических коллекций геологического музея Якутского государственного университета (ныне Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова) был установлен и описан четырехводный сульфат магния, по химическому составу отвечающий старкеиту. С целью более подробной характеристики образца для него была получена дифрактограмма, которая, как оказалось, существенно отличалась от рентгенограммы собственно старкеита, что и послужило поводом для детального изучения минерала. В результате проведенных исследований было установлено, что обнаруженный минерал является не стандартным старкеитом, а его полиморфной модификацией —  $\beta$ -старкеитом (Заякина, Лазебник, 1999). Исследуемый образец был найден в Западной Якутии. Заявка на утверждение его как нового минерала не подавалась, поскольку место точной находки образца не было известно.

Позднее Р. Петерсоном минерал был найден в Калингасте, Аргентина, при изучении небольших выработок по добыче сульфатов магния и утвержден как новый минерал крансвикит (Peterson, 2011). Насколько нам известно, новых находок этого сульфата не описано. Описываемая в данной статье находка — вторая в Якутии и третья в мире.

Нами крансвикит обнаружен в образце керна из скважины 343 (проба 343-06-175) золоторудного месторождения Малый Тарын (образец любезно предоставлен Л. И. Полуфунтиковой). Мало-Тарынское месторождение расположено на северо-востоке Якутии в Оймяконском районе, в 50 км южнее п. Усть-Нера, относится к Яно-Колымской металлогенетической провинции.

При исследовании процессов гипергенеза на Мало-Тарынском золоторудном месторождении проводились плановые работы по определению минерального состава пород методом рентгенофазового анализа. Породы месторождения — это пиритизированные песчаники и алевролиты (Полуфунтикова, Фридовский, 2016). Для одной из скважин изучено 12 образцов, взятых с различной глубины. Минеральный состав пород — смесь кварца, слюды, полевого шпата, небольшого количества гипса и смектита, реже встречается хлорит, в некоторых пробах фиксируются гётит и пирит. На поверхности обр. 343-06-175 наблюдался светлый налет или корка до 1—2 мм толщиной (рис. 1). Этот материал был отобран для дальнейшего изучения. Исследуемый образец

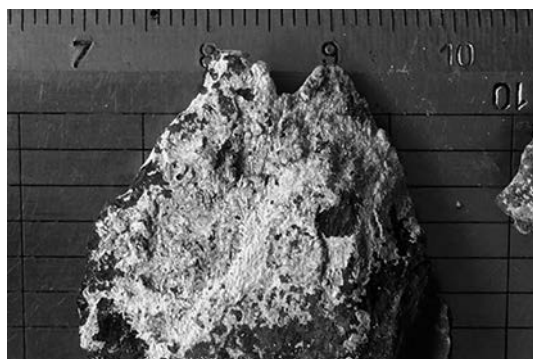


Рис. 1. Образец породы с коркой сульфата.

Fig. 1. Sample of rock with the sulfate crust.

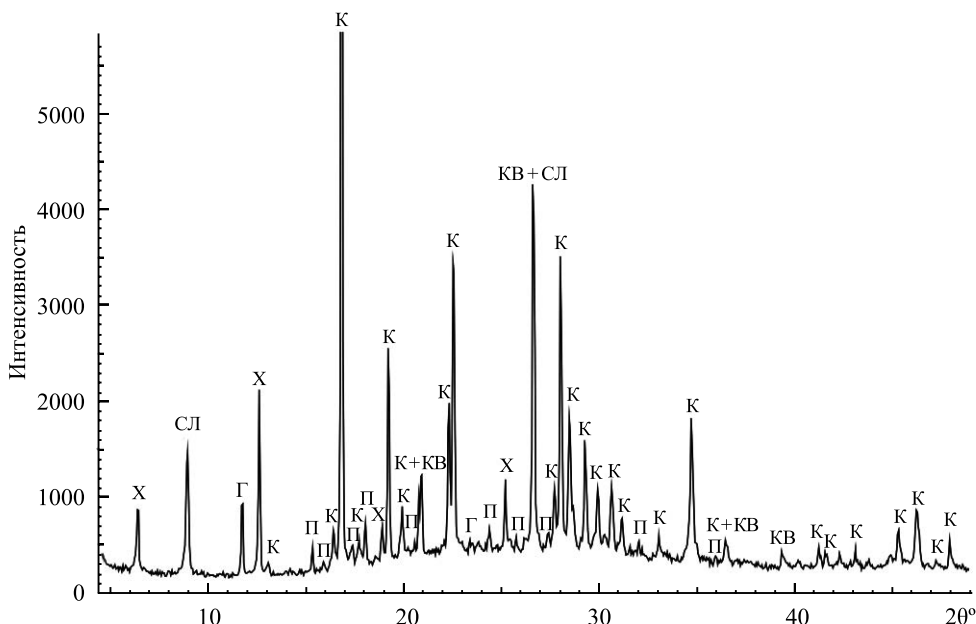


Рис. 2. Фрагмент рентгенограммы. Съемка выполнена на дифрактометре D2 PHASER, Cu-излучение, 30 кВ, 10 ма, интервал съемки 4.5—65° (2θ°), шаг 0.03° (2θ°), время набора 2 с. Обозначения: К — крансвикит, X — хлорит, СЛ — слюда, Г — гипс, П — пентагидрит, КВ — кварц.

Fig. 2. A fragment of the cranswickite's X-ray pattern. D2 PHASER, CuK $\alpha$ , 30 kv, 10 ma, interval 4.5—65° (2θ°), step 0.03° (2θ°), 2 sec. Symbols: K — cranswickite, X — chlorite, СЛ — mica, Г — gypsum, П — pentahydrate, КВ — quartz.

представлял собой белую, мягкую, мелоподобную массу, при растирании приобретающую серый оттенок.

Рентгенограмма, полученная для порошкового препарата и представленная на рис. 2, показала, что мы имеем дело со смесью минералов: основной минерал — крансвикит; присутствует кварц, слюда, хлорит, гипс; наличие небольшого количества пентагидрита.

Для уточнения диагностики частицы корки были исследованы на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480LV с энергетическим дисперсионным спектрометром Energy 350 Oxford (20 кВ, 1 нА, диаметр пучка 1 мкм) (аналитик С. К. Попова). Обломки минерала были наклеены на токопроводящую ленту с адгезивным слоем, выполнено напыление образцов углеродом. Следует отметить, что минерал очень мягкий, приготовить полированный образец с хорошей поверхностью невозможно, что объясняет разброс в полученных значениях окислов. Вода определялась по разнице суммы окислов до 100 %, поскольку отобрать чистый образец для ДТА исследования, чтобы определить количество воды, не удалось.

Результаты анализа приведены в таблице. В спектрах ЭДС других элементов, кроме Mg, S, O и в некоторых случаях небольшой примеси Si, не зафиксировано. Эмпирическая кристаллохимическая формула минерала, рассчитанная на 8 атомов кислорода по среднему из трех, не содержащих SiO<sub>2</sub>, анализам, следующая Mg<sub>0.99</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>1.08</sub>·4.02H<sub>2</sub>O. Формула, рассчитанная для анализа 4 без учета SiO<sub>2</sub>, соответствует Mg<sub>0.99</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>1.03</sub>·4.04H<sub>2</sub>O. Кварц — явная примесь, захваченная при отборе минерала, что подтверждается рентгенографически.

# Химические анализы крансвикита

## Chemical analyzes of cranswickite

Компонент, мас. %	Номер анализа				
	1	2	3	среднее из ан. 1, 2, 3	4
MgO	18.27	19.55	22.55	20.12	20.07
SO <sub>3</sub>	43.85	42.86	43.80	43.50	41.61
SiO <sub>2</sub>	—	—	—	—	1.61
H <sub>2</sub> O	37.88	37.58	33.65	36.37	36.70
Сумма	100	100	100	100	100

Крансвикит зафиксирован в нескольких анализах. Состав его, приведенный в таблице, близок к составу крансвикита: MgO — 20.28, SO<sub>3</sub> — 41.59, H<sub>2</sub>O — 37.9 мас. %, приводимому в работе Р. Петерсона (Peterson, 2011), и к среднему значению для двух анализов β-старкеита: MgO — 20.71, SO<sub>3</sub> — 42.06, H<sub>2</sub>O — 37.0 мас. % (Заякина, Лазебник, 1999).

Известно, что сохранность водных сульфатов очень сильно зависит от внешних условий — местонахождения минерала и условий хранения. Крансвикит Р. Петерсоном обнаружен в виде жил в метасадочных породах, содержащих гипс, кварц и иллит. Там же были обнаружены другие сульфаты: гексагидрит MgSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O в виде жил, старкеит MgSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O как налет поверх гексагидрита, сандерит MgSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O и кизерит MgSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O в обломках породы. Температура воздуха при отборе образцов была ~38 °С, а относительная влажность 4 %. «Порошок крансвикита, оставленный при относительной влажности приблизительно 35 % при 298 К в лаборатории, гидратировал до гексагидрита в течение двух дней» (Peterson, 2011, с. 870). Исследуемый нами образец крансвикита обнаружен в пробе керна, взятой с глубины 175 м из зоны дробления, образцы хранились в лаборатории в течение года. Проверка стабильности минерала проводилась в течение месяца: на вновь полученных рентгенограммах нет изменений. Ранее нами для таких сульфатов, как арангасит и β-старкеит, было установлено, что процессы гидратации и дегидратации активно происходят при извлечении и растирании минерала, тогда как в самом образце сохранность минерала хорошая (Заякина, Лазебник, 1999; Гамянин и др., 2013). Повторные рентгеновские съемки хранящихся в лаборатории образцов (в наших условиях относительная влажность воздуха в помещении чаще <30 %) показывали, что в течение года растертые препараты постепенно меняли свою структуру: в частности, четырехводный сульфат магния крансвикит превращался в старкеит, т. е. происходила трансформация метастабильного крансвикита до более устойчивого старкеита с тем же количеством воды (Заякина, Лазебник, 1999), гидратация до гексагидрита нами не наблюдалась.

Крансвикит, найденный в Якутии, имеет гипергенное происхождение, образуется, вероятно, при окислении пирита сульфидизированных пород. Подтверждением этому служат находки гётита, других водных сульфатов и гипса в окружающих породах.

Автор благодарит Т. И. Васильеву за помощь в работе и О. В. Королеву за проявленный к работе интерес и ценные замечания.

## Список литературы

- Гамянин Г. Н., Жданов Ю. Я., Заякина Н. В., Гамянина В. В., Сукнев В. С. Мангазеит —  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  — новый минерал // ЗРМО. **2006**. Т. 135. № 4, С. 20—24.
- Гамянин Г. Н., Заякина Н. В., Галенчикова Л. Т. Арангасит  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{PO}_4)\text{F} \cdot 7.5\text{H}_2\text{O}$  — новый минерал из месторождения Аляскинского (Восточная Якутия, Россия) // ЗРМО. **2013**. Т. 142. № 5. С. 21—30.
- Заякина Н. В., Лазебник К. А. Четырехводный сульфат магния из Западной Якутии // ЗВМО. **1999**. Т. 128. № 5. С. 99—101.
- Лазебник К. А., Заякина Н. В., Суплецов В. М. Первая находка в России редкого минерала — санжуанита // Докл. РАН. **1998**. Т. 362. № 2. С. 233—235.
- Полуфунтикова Л. И., Фридовский В. Ю. Литологические особенности, реконструкции редокс-обстановок и состав источников сноса отложений верхнего триаса Кулар-Нерского сланцевого пояса // Тихоокеанская геология. **2016**. Т. 35. № 3. С. 75—87.
- Кудрин М. В., Заякина Н. В., Васильева Т. И. Минералы зоны окисления золоторудного месторождения Хангалас (Восточная Якутия) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Якутск: Издательский дом СВФУ, **2018**. С. 77—80.

## References

- Gamyanin G. N., Zhdanov Yu. Ya., Zayakina N. V., Gamyanina V. V., Suknev V. S. Mangazeite,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  — a new mineral. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **2006**. Vol. 135. N 4. P. 20—24 (in Russian).
- Gamyanin G. N., Zayakina N. V., Galenchikova L. T. Arangasite,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{PO}_4)\text{F} \cdot 7.5\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral from Alaskitovoye deposit (Eastern Yakutia, Russia). *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **2013**. Vol. 142. N 5. P. 21—30 (in Russian, English translation: *Geol. Ore Deposits*. **2014**. Vol. 56. P. 560—566).
- Jambor J. L., Grew E. S., Roberts A. C. New mineral names. *Amer. Miner.* **2000**. Vol. 85. P. 1561—1565.
- Kudrin M. V., Zayakina N. V., Vasileva T. I. Minerals of the oxidation zone of the gold deposit Khangalas (Eastern Yakutia). In: *Geology and Mineral Resources of the Northeast of Russia*. Yakutsk: Publishing House SVFU, **2018**. P. 77—80 (in Russian).
- Lazebnik K. A., Zayakina N. V., Supletsov V. M. The first find of the rare mineral sanjuanite in Russia. *Doklady Earth Sci.* **1998**. Vol. 362. P. 233—235 (in Russian).
- Polufuntikova L. I., Fridovsky V. Yu. Lithological features, reconstructions of redox setting and composition of provenances of the Upper Triassic deposits of the Kular-Nera shale belt. *Russian J. Pacific Geol.* **2016**. Vol. 35. N 3. P. 75—87 (in Russian).
- Peterson R. C. Cranswickite  $\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , a new mineral from Calingasta, Argentina. *Amer. Miner.* **2011**. Vol. 96. P. 869—877.
- Zayakina N. V., Lazebnik K. A. Tetrahydrate magnesium sulfate from Western Yakutia. *Zapiski RMO (Proc. Russian Miner. Soc.)*. **1999**. Vol. 128. N 5. P. 99—101 (in Russian).

Поступила в редакцию  
16 июля 2018 г.