

УДК 550.47

DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-1-90-102

## Редкие земли в руде Букукинского месторождения вольфрама (Восточное Забайкалье)

Г. А. Юргенсон

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 672002, г. Чита, ул. Недорезова, 16а, e-mail: yurgga@mail.ru

Поступила в редакцию 21.07.2020 г., принята к печати 31.08.2020 г.

*Объектом исследования* являются минеральные ассоциации кварц-вольфрамитовых жил Букукинского месторождения, содержания в них редкоземельных элементов, их минералы-носители, химический состав последних и распределение в них легких и тяжелых лантаноидов. *Материалы и методы.* Изучен химический состав двух групповых проб с различным содержанием рудных минералов, а также минеральный состав руд с использованием 143 образцов в шлифах и аншлифах с помощью оптического поляризационного микроскопа AXIO ScopeAI, растрового электронного микроскопа LEO 1430 VP. Химические анализы руд выполнены методом ISP MS. *Результаты.* Изучение химического состава групповых проб показало, что содержание и распределение редкоземельных элементов, соотношение легких и тяжелых лантаноидов в рудах зависят от соотношения в них вольфрамита и других рудных минералов, ассоциирующих с флюоритом и апатитом. Основным минералом-концентратом редкоземельных элементов в вольфрамит-сульфидно-кварцевых рудах Букукинского месторождения является монацит-(Ce), содержащий (мас. %) Ce (27.09–31.59), La (13.13–17.67), Nd (5.59–10.26), Pr (до 2.86), Sm (до 1.14), Th (до 6.59). *Заключение.* Подтвержден вывод о возрастании коэффициента концентрации тяжелых лантаноидов в зависимости от уменьшения их ионного радиуса, установленный нами ранее для вольфрамита Шерловой Горы. Количества, минеральные формы и соотношения содержаний редкоземельных элементов цериевой и иттриевой групп в руде Букукинского месторождения могут быть типохимическими признаками грейзеновых месторождений вольфрама и использоваться для рудноформационной типизации при их прогнозе и поисках.

**Ключевые слова:** редкоземельные элементы, монацит, вольфрамит, вольфрам, Букукинское месторождение, Восточное Забайкалье

### Источник финансирования

Работа выполнена в рамках госзадания проекта № 0386-2019-0004 (IX.137.1.2)

## Rare-earth elements in the ore of the Bukukinskoye tungsten deposit (the Eastern Transbaikalia)

Georgi A. Yurgenson

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB of RAS, 16a Nedorezova st., Chita 672002, Russia, e-mail: yurgga@mail.ru

Received 21.07.2020, accepted 31.08.2020

*Research subject.* This study investigated the mineral association of quartz-wolframite veins of the Bukukinskoye tungsten deposit, with a particular focus on the content of rare-earth elements and their carrier minerals, their chemical composition and the distribution of light and heavy lanthanides. *Materials and methods.* The chemical composition of two groups of samples containing different ore minerals, as well as the mineral composition of ores was investigated on 143 samples in thin and polished sections using an AXIO ScopeAI optical polarizing microscope and a LEO 1430 VP scanning electron microscope. Chemical examination of ores was carried out using the ISP MS method. *Results.* The study of the chemical composition of group samples determined that the content and distribution of REE, the ratio of light and heavy lanthanides in ores depends on the ratio of wolframite and other ore minerals, associated with fluorite and apatite. The main REE concentrator mineral in the wolframite-sulfide-quartz ores of the Bukukinskoye deposit is monazite-(Ce) containing (wt %) Ce (27.09–31.59) La (13.13–17.67), Nd (5.59–10.26), Pr (up to 2.86), Sm (up to 1.14), Th (up to 6.59). *Conclusion.* The obtained results confirmed our earlier findings for the wolframite of the Sherlova Gora that an increase in the concentration coefficient of heavy lanthanides depends on a decrease in their ionic radius. The contents,

**Для цитирования:** Юргенсон Г. А. (2021) Редкие земли в руде Букукинского месторождения вольфрама (Восточное Забайкалье). *Литосфера*, 21(1), 90–102. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-1-90-102

**For citation:** Yurgenson G.A. (2021) Rare-earth elements in the ore of the Bukukinskoye tungsten deposit (Eastern Transbaikalia). *Litosfera*, 21(1), 90–102. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-1-90-102

mineral forms and ratios of REE of the cerium and yttrium groups in the ore of the Bukukinskoye deposit can be typochemical signs of greisen tungsten deposits, thus being useful for typification of ore formation in geological forecasting and prospecting.

**Keywords:** *rare earth elements, monazite, wolframite, tungsten, Bukukinskoye deposit, East Transbaikalia*

**Funding information**

*This work was carried out as part of the state assignment of project No. 0386-2019-0004 (IX.137.1.2)*

## ВВЕДЕНИЕ

Редкоземельные элементы (РЗЭ), или лантаноиды, как известно, представляют собою металлы с особыми свойствами, определяющими их положение в периодической системе. Этими свойствами обусловлен интерес к ним и все возрастающее использование в современной, в частности, СВЧ-электронике, фотоэлектронике, нефтепереработке, легировании металлических сплавов и других современных технологиях. Интенсивное изучение их минералогии и геохимии началось во второй половине XX в. и продолжается по сей день. В 1960-х гг. в ИМГРЭ под руководством К.А. Власова (1964) созданы уникальные сводки по геохимии и минералогии редких металлов, в том числе и РЗЭ. Е.И. Семеновым изучены геохимия и минералогия РЗЭ в щелочных породах и карбонатах. Было показано наследование акцессорными минералами геохимических особенностей замещаемых толщ при метаморфизме, в частности малое содержание тория в монаците, урана в цирконе и др. Выявлено существенное индикаторное значение для прогнозирования связанного с гранитоидами и щелочными породами оруденения с использованием ассоциаций акцессорных минералов и, прежде всего, монацита и ксенотима: М.Д. Скурским с соавторами (1975), показано, что для вольфрамоносных литий-фтористых гранитов кукуйбайского комплекса типична монацит-ксенотимовая акцессорная минеральная ассоциация.

В известной сводке Ю.А. Балашова (1976) о редкоземельных элементах были подведены итоги их изучения, высвечены основные проблемы и направления дальнейших исследований РЗЭ, а именно их распределение в горных породах, в эндогенных и гипергенных процессах. Эта работа способствовала использованию имеющихся данных для решения задач теории литосферных плит, поисков и прогноза редкоземельного оруденения в различных условиях. Значительные успехи были достигнуты в изучении геохимии и минералогии РЗЭ, условий их миграции и концентрирования в эндогенных и гипергенных обстановках.

Акцессорные, в том числе редкоземельные, минералы рассмотрены С.М. Бескиным и В.В. Матисом (2006) как индикаторные минералы петролого-металлогенических гранитоидных серий. В монографии Н.Л. Добрецова, Ю.Б. Марина С.М. Бескина, С.А. Лескова (2007) показаны возможности использования акцессорных минералов для расчленения и картирования гранитоидных интрузий и гранитоидных серий.

Установлено, что лантаноиды цериевой группы имеют тенденцию накапливаться в составе постмагматической деятельности, связанной с щелочными породами, а иттриевой – с производными кислых магм (Типоморфизм минералов..., 1989). В результате анализа и обобщения распределения РЗЭ во флюоритах нами определено, что соотношение содержаний редких земель цериевой и иттриевой групп является индикатором для отнесения месторождений флюорита к определенным рудным формациям и их типам. Месторождения собственно флюоритовой формации связаны с базальтоидным магматизмом, а ртутно-сурьмяные и оптического флюорита – с гранитоидным. На примере распределения РЗЭ в вольфрамитах Шерловой Горы показано, что в них преобладают тяжелые лантаноиды, что связано с их накоплением в остаточных расплавах (Yurgenson et al., 2017). Поэтому различное поведение входящих в эти группы РЗЭ, выявленное для кварцевых жил с вольфрамитом, представляется весьма интересным.

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Букукинское месторождение вольфрама находится в Газимуро-Ононском хребте Оловянинского района Забайкальского края (рис. 1).

Оно открыто местными жителями в 1911–1916 гг. и с 1915 г. уже разрабатывалось Кабинетом Его Императорского Величества. За 1915–1917 гг. добыто около 50 т вольфрама. В 1926 г. добыча руды была возобновлена и продолжалась до 1960 г., когда рудник законсервировали (Быбин, 2003), как и другие в Восточном Забайкалье (Анотонина Гора, Дедова Гора, Белуха), добывавшие вольфрам. Это было связано с возможностью экспортировать



**Рис. 1.** Местоположение Букукинского месторождения вольфрама.

**Fig. 1.** Location of the Bukukinsky tungsten deposit.

относительно дешевые концентраты с вольфрамом из Монголии и Китая, а с шеелитом – из КНДР. При среднем содержании  $WO_3$  в руде Букукинского месторождения 0.19–2.5 мас. % запасы его на 01.01.1962 составляли: балансовые  $A + B + C = 3631$  т,  $C_2 = 2459$  т, забалансовые – 403 т. Более того, имеются значительные перспективы, связанные с оруденением в штокверках, а также по слабо изученным северному и западному флангам (Гребенников, 2003).

Месторождение изучалось П.П. Сущинским (1917), М.М. Тетяевым (1918) и в те же годы – С.А. Докторовичем-Гребническим. Геологическое строение месторождения освещено в более поздних работах О.Д. Левицкого (1940), А.В. Дружинина (1968, 1978). Было установлено, что рудное поле локализовано в олово-вольфрамовой зоне Монголо-Охотского минерагенического пояса в грейзенизированных метаморфизованных песчаниках с прослоями сланцев и конгломератов нижней и средней юры, прорванных гранитоидами кукульбейского интрузивного комплекса (Гайворонский, 1995) (рис. 2).

Возраст рудовмещающих ганоидоритов –  $141 \pm 5$  млн лет, грейзенов –  $137 \pm 5$  млн лет – получен Р.М. Константиновым с соавторами калий-аргоновым методом по мусковиту (Онтеев, 1974). В пределах рудного поля развит дайковый комплекс. При этом грейзенизированные порфириды участвуют в строении продуктивных жил, указывая на парагенетические связи даек с оруденением.

Оруденение было представлено 85 кварц-вольфрамит-сульфидными жилами и штокверками. Жилы имеют линзовидную, кулисообразную и сложную формы мощностью 0.1–3 м и протяженностью 90–100 м. Размеры штокверков –  $40 \times 50$ ,

$60 \times 150$  м, мощность прожилков – 0.03–0.2 м, длина – от 1–2 до 15–30 м (Гребенников, 2003). Д.О. Онтеев (1974) выделил две стадии оруденения. Ранняя представлена пологопадающими кварц-вольфрамитовыми жилами с молибденитом, висмутином и другими сульфидами, а поздняя – крутопадающими кварц-сульфидно-гюбнеритовыми.

Минеральный состав руд изучен довольно детально, благодаря исследованиям О.Д. Левицкого (1940) и Д.О. Онтеева (1974), группой исследователей под руководством В.Ф. Барабанова (Вольфрамитовые месторождения, 1995). Они характеризуются обилием минеральных видов. К главным рудным минералам рудоносных жил относятся вольфрамит, сфалерит, пирротин, галенит, козалит, висмутин, лиллианит, халькопирит, пирит; к второстепенным – молибденит, арсенопирит, галенобисмутит, ферберит, касситерит, станнын, шеллит, блеклые руды,  $\alpha$ -матильдит; к редким – самородный висмут, креннерит, сивьянит (?), петцит, тетрадимит, штернберgit, гаухекорнит, марказит, сфен, циркон, рутил (Онтеев, 1974). Главными жильными минералами являются кварц и мусковит; второстепенными – кальцит, сидерит, серицит, халцедон, триплит, родохрозит, халцедоновидный кварц, флюорит, анкерит, хлорит, альбит, микроклин; редкими – турмалин, топаз, апатит, берилл, стеллерит. Однако редкоземельной минерализации в жильных телах месторождения не уделялось внимания и их минералы не были обнаружены.

Основные результаты изучения химического состава главных минералов Букукинского месторождения были получены до середины 1970-х гг. с использованием химического и полуколичественного спектрального анализов монофракций, чистота отбора которых, за редким исключением, относительна. Более того, получить достаточные для химического анализа чистые количества редких и примесных минералов, размеры которых составляют доли мм, практически не представлялось возможным. Тем не менее изучение минералогии и геохимии месторождений вольфрама показало, что в их рудах и минералах РЗЭ не редкость и были обнаружены как собственные их минералы (Вольфрамитовые месторождения, 1995; Kasatkin et al., 2014; Yurgenson, Kononov, 2014; Попова и др., 2016, 2017; Юргенсон и др., 2020), так и их примеси в вольфрамите (Гавриленко и др., 1995; Yurgenson et al., 2017). Определены РЗЭ и во флюорите (Красильщикова и др., 1986; Типоморфизм минералов..., 1989; Kasatkin et al., 2014; Файзиев и др., 2000; Юргенсон и др., 2020) и в других минералах. При этом для примесей РЗЭ в вольфрамите Шерловой Горы установлено, что коэффициенты концентрации тяжелых лантаноидов существенно выше, чем таковые легких. Анализ условий образования вольфрамитов в жильных телах этого ме-

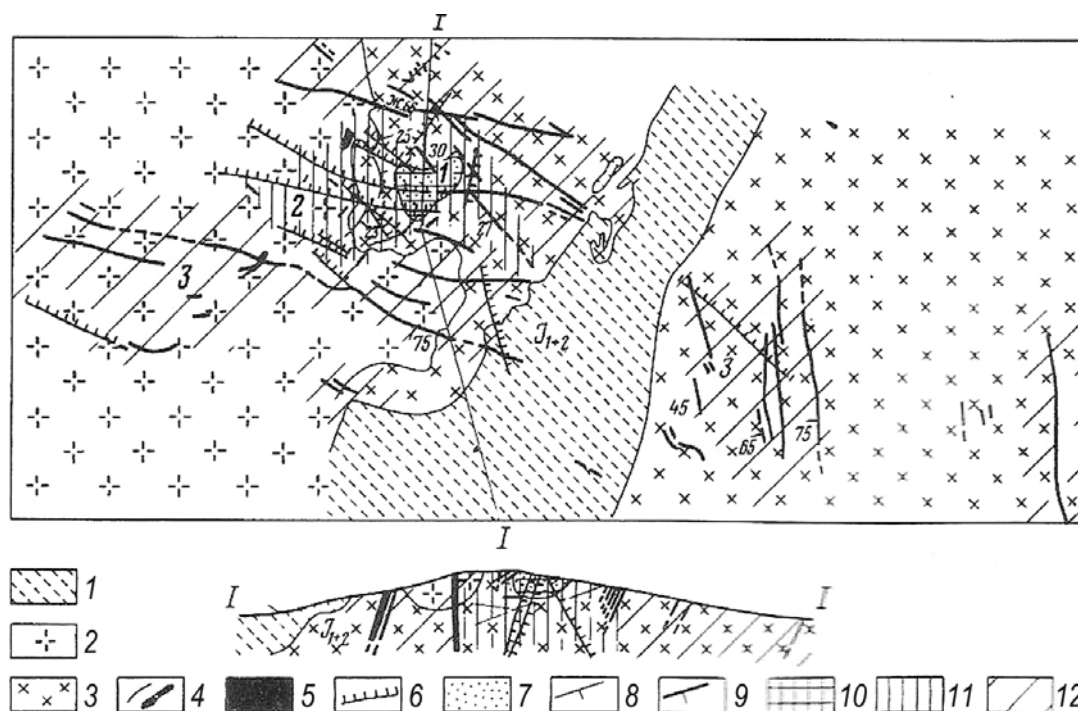


Рис. 2. Схематическая геологическая карта и разрез Букукинского месторождения, по (Онтоев, 1974).

1 – сланцы и песчаники метаморфизованные; 2 – крупнозернистые порфировидные граниты; 3 – среднезернистые гранодиориты; 4 – дайки лампрофиров; 5 – гранит-порфиры; 6 – тектонические нарушения; 7 – участки greisenизации; 8 – пологопадающие кварц-вольфрамитовые жилы с молибденитом, висмутином и другими сульфидами; 9 – крутопадающие кварцево-сульфидно-гюбнеритовые жилы; 10 – зона интенсивной greisenизации (1); 11 – зона жильного и штокеркового оруденения ранней стадии (2); 12 – зона жильного кварц-сульфидно-гюбнеритового оруденения поздней стадии (3).

Fig. 2. Schematic geological map and section of the Bukukinsky field, by (Ontoev, 1974).

1 – shales and sandstones metamorphosed; 2 – coarse-grained porphyritic granites; 3 – medium-grained granodiorites; 4 – lamprophyre dikes; 5 – granite porphyry; 6 – tectonic disturbances; 7 – areas of greisenization; 8 – dipping quartz-tungsten veins with molybdenite, bismuthine and other sulfides; 9 – steeply falling quartz-sulfide-gubnerite veins; 10 – zone of intensive greisenization (1); 11 – zone vein and stockwork mineralization of an early stage (2); 12 – zone of vein quartz-sulfide-gubnerite mineralization of a late stage (3).

сторождения показал, что он представляет собою продукт кристаллизации из остаточных расплавов (Yurgenson et al., 2017; Юргенсон и др., 2018). Для руд Букукинского месторождения такие исследования не проводились.

Поэтому цель настоящей работы – изучение содержания РЗЭ в минералах руд этого месторождения с использованием современных методов. Предметом исследования определена их редкоземельная специализация и минералы-носители РЗЭ.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Месторождение посещалось автором в 2014 г. в целях изучения строения и минерального состава кварц-вольфрамитовых жил, а также почв и техноземов хвостохранилища. Общее число отобранных образцов для минералогических исследований – 143. Из них изготовлено 27 аншлифов и 26

прозрачных шлифов. Минеральный состав руд исследован в шлифах и аншлифах с помощью оптического поляризационного микроскопа АХЮ ScoreAI, а также электронно-зондовым методом на растровом электронном микроскопе LEO 1430 VP (аналитики Е.А. Хромова, Е.В. Ходырева, ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, руководитель лаборатории к.т.н. С.В. Канакин). Для определения химического состава жильного материала с различным содержанием рудных минералов подготовлено две групповые пробы. Химические анализы выполнены методом ICP MS в лаборатории ОАО “Восток лимитед”, руководитель Т.Л. Попова. Исследования методом порошковой дифракции проведены в аналитическом центре Института земной коры СО РАН на дифрактометре ДРОН-3.0, излучение – CuK $\alpha$ , Ni-фильтр, V = 25 кВ, I = 20 мА, в диапазоне 3–60°(2 $\theta$ ), шаг сканирования – 0.05°. Полученные данные использованы для идентификации фазового состава

**Таблица 1.** Содержание рудных элементов в пробах вольфрамит-сульфидно-кварцевых жил с различным количеством рудных минералов, г/т**Table 1.** The content of ore elements in samples of wolframite-sulfide-quartz veins with different amounts of ore minerals, ppm

Проба	Bi	Sb	Ta	Sn	Ni	Cu	As	Mo	Co	Fe	Mn	Zn	Cd	Nb	Pb	W	S	SiO <sub>2</sub>
1	454	7.3	2.7	585	35	590	90	23	12.1	81 400	2960	6180	56	10	2890	9040	67 900	652 000
2	619	9.3	3.5	676	34	480	70	18	8.5	54 200	1900	3820	35	6	1580	2480	46 400	695 000
1/2	0.7	0.8	0.8	0.9	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.6	1.7	1.8	3.6	1.5	0.94

ва образцов с помощью программы поиска фаз на основе минералогической базы данных PDF-2 (2007 г.). Для достоверности результатов рентгенофазового анализа дополнительно проведено рентген-флуоресцентное определение содержаний основных и примесных элементов на кристалл-дифракционном спектрометре S8 Tiger (Bruker Nano GmbH, Германия). Из исследуемого материала были приготовлены прессованные таблетки-излучатели на подложке из борной кислоты. Условия съемки: аппарат ДРОН-3.0, излучение  $\text{CuK}\alpha$ , Ni-фильтр,  $V = 25\text{ кВ}$ ,  $I = 20\text{ мА}$ , угловой диапазон –  $3\text{--}45^\circ (2\theta)$  со скоростью измерения  $1^\circ/\text{мин}$ . Аналитики З.Ф. Ушаповская и Т.С. Филева.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Главные минералы изученных кварц-вольфрамитовых жил представлены кварцем, вольфрамитом, сфалеритом, пиритом. Кроме них присутствуют железистый мусковит, халькопирит, галенит, висмутинит, козалиит, сидерит, анкерит, флюорит, лиллианит, берилл, арсенопирит, шеелит, пирротин, касситерит, сульфосоли меди, содержащие серебро, станнин. В результате электронно-микроскопических исследований выявлены неизвестные ранее в Забайкалье цилинголит ( $\text{xilingolite}$ ) ( $\text{Pb}_3\text{Bi}_2\text{S}_6$ ) и ашамальмит ( $\text{aschamalmite}$ ) ( $\text{Pb}_{6-3x}\text{Bi}_{2+x}\text{S}_9$ ) (формулы по (Флейшер, 1990; Malcolm Back, 2014), и неизвестные ранее в рудах месторождения платтнерит ( $\text{PbO}_2$ ), штрмейерит ( $\text{AgCuS}$ ), шапбахит ( $\text{Ag}_{0.4}\text{Pb}_{0.2}\text{Bi}_{0.4}\text{S}$ ), бисмит ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ), кёстерит ( $\text{Cu}_2(\text{Zn},\text{Fe})\text{SnS}_4$ ), рудашевскит ( $(\text{Fe},\text{Zn})\text{S}$ ), густавит ( $\text{PbAgBi}_3\text{S}_6$ ). Особенностью козалиита, цилинголита, ашамальмита, других сульфосолей, галенита, галеннобисмутита и англезита, согласно нашим данным, является содержание в них серебра от 0.66 до 7.73 мас. %. Диагностика вольфрамитов, халькопирита, козалиита, лиллианита, пирротина, мусковита и анкерита подтверждена рентгеноструктурным анализом. Их дифрактограммы типичны и поэтому здесь не приводятся. Более того, диагностика их однозначно подтверждается данными изучения химического состава электроннозондовым анализом.

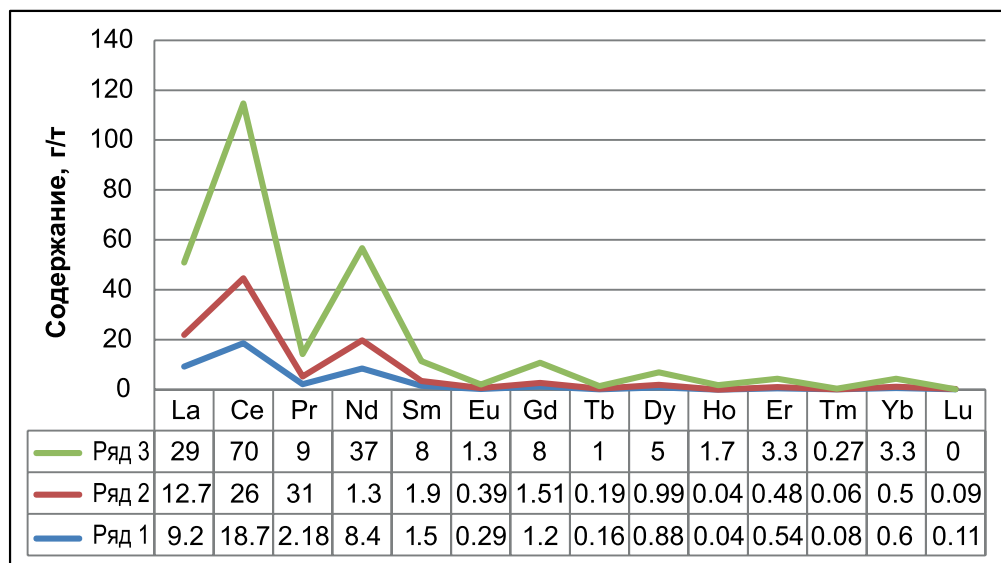
Для изучения подготовлены две пробы рудного материала из жил, различающихся по количеству

кварца, сульфидов и вольфрамитов. В них определено содержание РЗЭ и главных элементов, составляющих вольфрамит-сульфидно-кварцевые руды. В пробе 1 содержание рудных элементов около 10, в пробе 2 – не более 1.5 мас. %.

Как видно из табл. 1, различается содержание железа, серы, марганца, свинца, цинка и вольфрама, входящих в состав рудных минералов, в частности сульфидов и вольфрамитов. Пробы различаются также составом находящегося в них вольфрамитов. Соотношение рудных элементов, за исключением висмута, сурьмы, тантала и олова в пробе, обогащенной сульфидами и вольфрамитом, больше единицы. Это вполне согласуется с относительно ранним молибденит-халькопирит-галенит-пирит-вольфрамитовым парагенезисом. Висмут, сурьма и олово связаны здесь в основном с поздней гюбнерит-сульфосоли-сульфо-висмутовой ассоциацией, в которой висмут находится в цилинголите, ашамальмите, возможно, в густавите и викингите, а олово – в форме станнина и кёстерита. Касситерит определен преимущественно в ранней кварц-мусковитовой довольфрамитовой ассоциации.

Содержания РЗЭ и тренд изменения их в двух изученных пробах показан на рис. 3.

Анализ приведенных данных показал следующее. Во-первых, общая тенденция уменьшения концентраций РЗЭ с возрастанием атомного номера элемента четко прослеживается при явно меньших содержаниях в пробе с относительно большим количеством рудного материала (ряд 1) по сравнению с пробой с его меньшим содержанием (ряд 2). Во-вторых, наблюдаются различия в содержаниях и их тренде для рассматриваемых двух проб. В пробе с относительно высоким количеством рудных минералов (ряд 1) низкие содержания присутствуют лантаноидам – от лантана до диспрозия включительно, но начиная с гольмия, содержания которого одинаковы в обеих пробах, для остальных элементов иттриевой группы в обогащенной рудными минералами пробе они больше, чем в относительно обедненной рудными минералами и составляющими их химическими элементами. Особенно хорошо это видно по величинам отношений коэффициентов их концентраций относительно кларка (рис. 4).

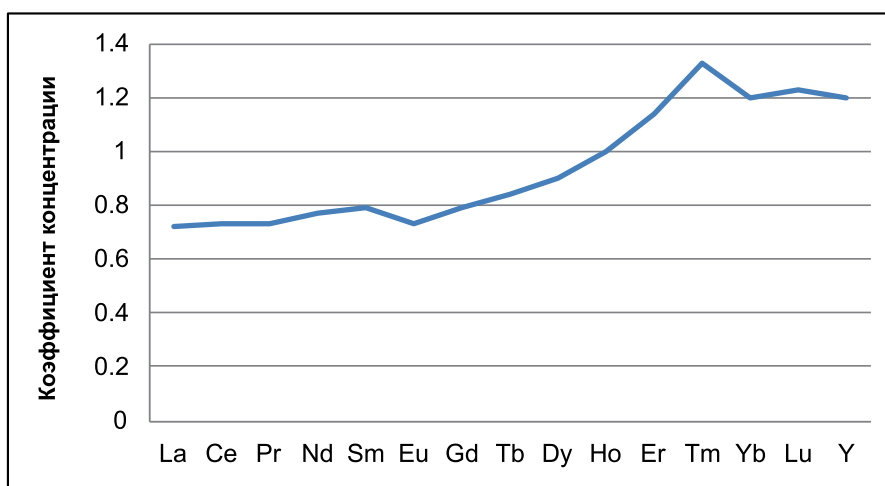


**Рис. 3.** Тренд содержания лантаноидов в жильном материале с разным содержанием рудных минералов в сравнении с кларком.

По горизонтальной оси приведены значения содержания элементов. Ряд 1 – проба с высоким содержанием рудных минералов, ряд 2 – с низким, ряд 3 – средние содержания в земной коре, по (Виноградов, 1962).

**Fig. 3.** The trend of lanthanide contents in vein material with different contents of ore minerals.

The horizontal axis shows the contents of the elements. Row 1 – sample with a high content of ore minerals, row 2 – low ore mineral sample, row 3 – average contents in the Earth crust, by (Vinogradov, 1962).

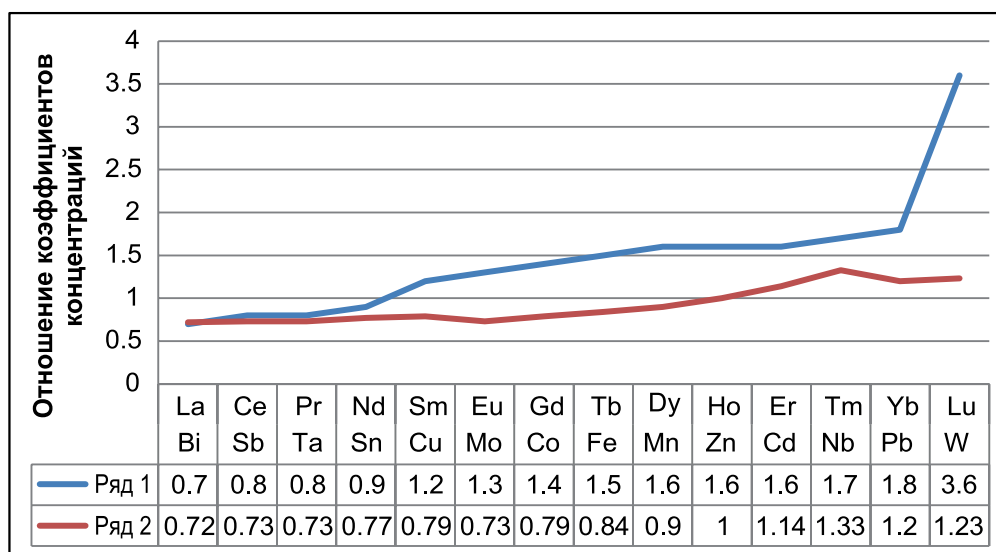


**Рис. 4.** Тренд возрастания отношений коэффициентов концентраций тяжелых РЗЭ относительно их кларка (вертикальная ось) по сравнению с легкими РЗЭ в пробе с большим содержанием рудных минералов.

**Fig. 4.** The trend of increasing ratios of concentration coefficients of heavy REE relative to their clark (vertical axis) compared to light in a sample with a high content of ore minerals.

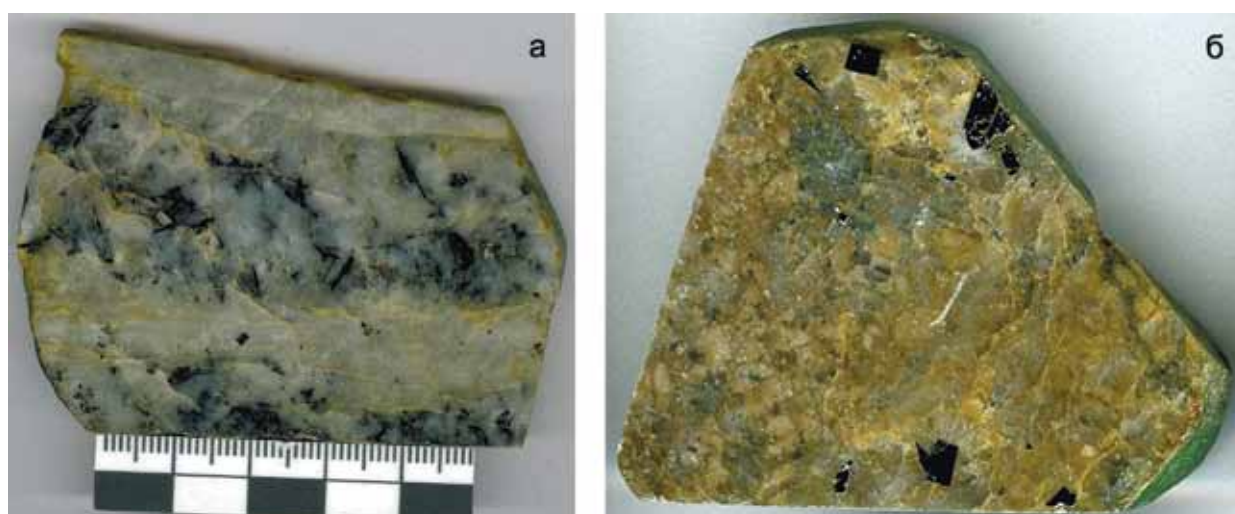
Как видно на рис. 5, тренд возрастания отношений концентраций рудных элементов в пробе с относительно большим содержанием рудных минералов аналогичен таковому для РЗЭ. Это означает,

что доля тяжелых лантаноидов возрастает с увеличением количества вольфрамитов и ассоциирующих с ним рудных минералов и увязывается с резким возрастанием отношения содержания воль-



**Рис. 5.** Тренды изменения отношений концентраций рудных элементов в пробе, обогащенной рудными минералами (ряд 1) и РЗЭ в относительно бедной пробе (ряд 2).

**Fig. 5.** The trend in the concentration ratios of ore elements in a sample enriched in ore minerals, compared with a relatively poor one.



**Рис. 6.** Ранняя вольфрамит-сульфидно-кварцевая, (обр. БК-22) – а и поздняя флюорит-сульфидно-слюдисто-кварцевая (обр. БК-16) – б минеральные ассоциации с монацитом.

Обр. БК-16 – натуральная величина.

**Fig. 6.** Early wolframite-sulfide-quartz (sample БК-22) – а and late fluorite-sulfide-mica-quartz (sample БК-16) – б mineral associations with monazite.

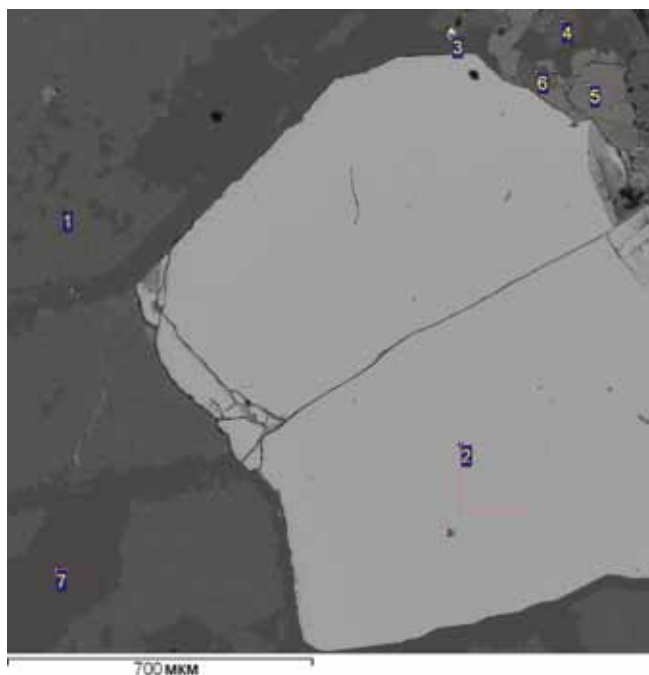
Samples БК-16 – life size.

фрама, равного 3.6, и серы, равного 1.5. Связь возрастания доли тяжелых лантаноидов в ассоциациях с вольфрамитом установлена нами однозначно для Шерловой Горы (Yurgenson et al., 2017).

Минеральные формы РЗЭ в вольфрамит-сульфидно-кварцевых жилах Букукинского месторождения представлены монацитом, иттрофлюори-

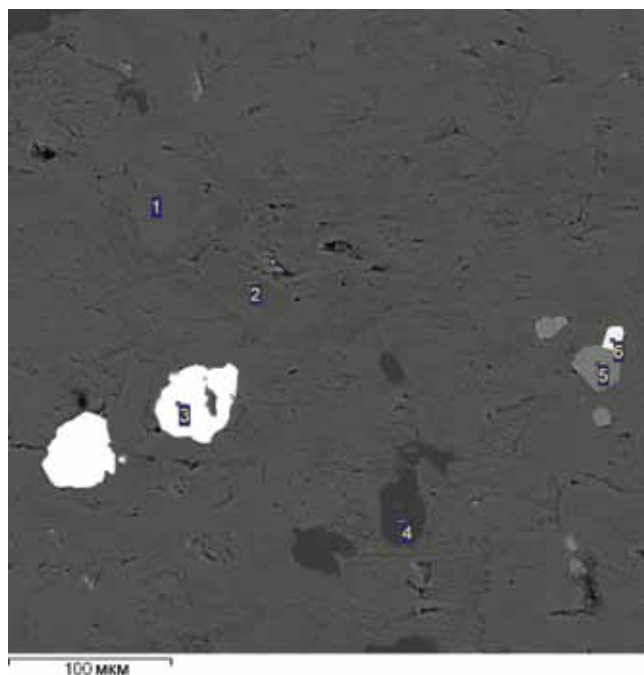
том и апатитом. Но основная масса редких земель связана с монацитом, который образует отдельные микронные кристаллики непосредственно в кварцево-слюдистом агрегате или вблизи с находящимися в нем кристаллами пирита. Типичный облик минерального агрегата, содержащего монацит, приведен на рис. 6.





**Рис. 7.** Монацит (3) в ассоциации с флюоритом (5) и кварцем (7) рядом с пиритом (2) в мусковитовом (1, 4, 6) агрегате. Обр. БК-16-2-3. Электронно-микроскопический снимок.

**Fig. 7.** Monazite (3) in association with fluorite (5) and quartz (7) next to pyrite (2) in a muscovite (1, 4, 6) aggregate. Sample БК-16-2-3. Electron microscopic image.



**Рис. 8.** Ассоциация монацита (3), циркона (6), апатита (5) и кварца (4) в железистом мусковите (1, 2). Обр. 16-4-1-3. Электронно-микроскопический снимок.

**Fig. 8.** The association of monazite (3), zircon (6), apatite (5) and quartz (4) in glandular muscovite (1, 2). Sample 16-4-1-3. Electron microscopic image.

На рис. 6а хорошо видно, что поздний, существенно кварцевый агрегат, не содержащий видимых включений вольфрамитов, образует две взаимопараллельные полосы. Одна из них (срединная) содержит идиоморфные включения пирита. Облик такого жильного материала представлен на рис. 6б.

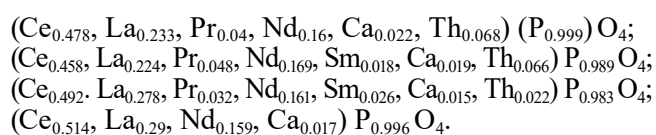
Монацит преимущественно развит в висмутин-молибденит-вольфрамит-пирит-слюдисто-кварцевых жилах. Он, за редким исключением, ксеноморфен. Индивиды или их сростки имеют микронные размеры. Количество его едва достигает первых сотых долей процента.

Примерно 20-микронный субидиоморфный кристаллик монацита в ассоциации с пиритом, слюдой, апатитом, флюоритом и кварцем представлен на рис. 7. Флюорит и апатит, как показано ниже, содержат низкие концентрации РЗЭ.

Монацит, находящийся в виде включений в железистом мусковите, ассоциирует с редкоземельным апатитом и цирконом (рис. 8). Формы выделения его сростков субизометричны и имеют размеры до 40 мкм.

Результаты изучения химического состава монацита приведены в табл. 2 и 3. Из них видно, что в одной из точек измерений (2-3) присутствует фтор.

Полагая, что он захвачен из флюорита, мы исключили его из расчета. После расчета формульных коэффициентов на  $O_4$  выведены кристаллохимические формулы монацита, имеющие вид:



Особенностью монацита является преобладание церия над лантаном почти в два раза, высокое содержание неодима, присутствие в половине анализов самария, нетипичного для монацита-(Ce), постоянное присутствие кальция, отсутствие урана и некоторый недостаток фосфора.

Флюорит, достаточно часто присутствующий в относительно поздних гюбнерит-сульфидно-кварцевых жилах, в большинстве изученных образцов не содержит примесей РЗЭ, больших чем 0.01 мас. %, являющихся порогом точных их определений, используемым электронно-зондовым методом. Выявлен лишь один случай флюорита, содержащего 0.59 мас. % иттрия. Он, как видно на рис. 9, представляет собою лишь один из фрагментов (точка измерения 2) сростка его индивидов в соста-



**Таблица 2.** Химический состав монацита, мас. %**Table 2.** The chemical composition of monazite, wt %

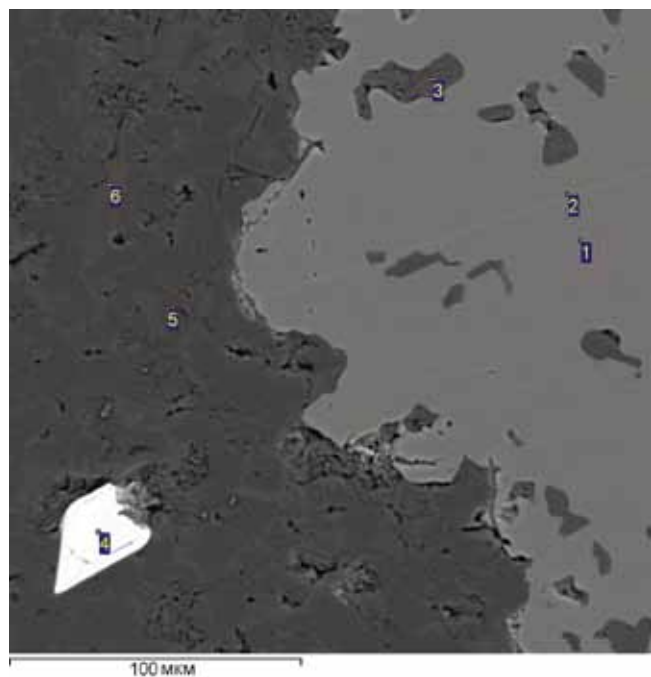
Точка измерения	O	F	P	Ca	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Th	Сумма
2-3	24.29	1.42	12.19	0.35	12.85	26.62	2.22	9.15	Н.о.	6.29	95.38
3-5	24.54	Н.о.	12.32	0.31	12.5	25.8	2.72	9.79	1.09	6.16	95.23
4-1-3	23.69	Н.о.	12.4	0.25	15.7	28.06	1.86	9.44	1.58	2.09	95.06
7-1-6	22.58	Н.о.	11.88	0.26	15.53	27.76	Н.о.	8.83	Н.о.	Н.о.	87.85

Примечание. Н.о. – не обнаружено.

Note. Н.о. – note detected.

**Таблица 3.** Химический состав монацита, нормированный к 100%**Table 3.** The chemical composition of monazite, normalized to 100%

Точка измерения	O	P	Ca	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Th
2-3	25.97	12.98	0.37	13.47	27.91	2.33	9.59	Н.о.	6.59
3-5	25.77	12.94	0.33	13.13	27.09	2.86	10.28	1.14	6.47
4-1-3	24.92	13.04	0.26	16.51	29.52	1.96	9.93	1.66	2.2
7-1-6	25.7	13.52	0.3	17.67	31.59	Н.о.	10.05	Н.о.	Н.о.



**Рис. 9.** Ассоциация флюорит (1, 2), мусковит (3, 5, 6), циркон (4). Обр. БК-16-1-2. Электронно-микроскопический снимок.

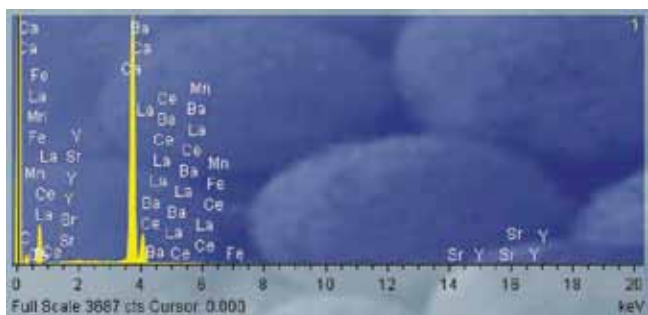
**Fig. 9.** Association fluorite (1–2), muscovite (3, 5–6), zircon (4). Sample БК-16-1-2. Electron microscopic image.

ве поздней флюоритсодержащей ассоциации, секущей существенно мусковитовый агрегат и захватившей его фрагменты (точка 3). Об этой неодно-

родности состава флюорита свидетельствует весьма низкое содержание иттрия (менее 0.01 мас. %) в соседней точке 1 (см. рис. 9), где наряду с ним присутствуют церий и лантан. Судя по рентгеновским спектрам флюорита, иттрий и фосфор практически всегда присутствуют в нем (рис. 10). Как сказано выше, носителем РЗЭ, в частности церия и лантана, является также апатит, в спектрах которого они постоянно присутствуют (рис. 11), указывая на вероятность содержаний менее 0.01 мас. %. Но доля их в общем балансе РЗЭ неизвестна.

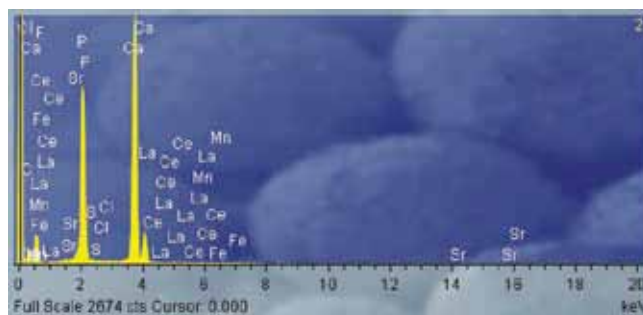
Вольфрамит также является носителем РЗЭ. Выполнено 19 определений его состава. Непосредственно в нем или в непосредственной ассоциации с ним ни монацит, ни ксенотим не обнаружены. Но на его рентгеновских спектрах постоянно присутствуют наиболее распространенные РЗЭ цериевой или иттриевой групп. Первая представлена церием и лантаном всегда в ассоциации с фосфором, а вторая – иттрием и фосфором. Это обстоятельство может быть интерпретировано как наличие в нем квазимикронных примесей монацита или ксенотима. Анализ распределения этих групп элементов в сравнении с составом, ассоциациями и генерациями вольфрамиты показал, что они не случайны.

Во-первых, выявлено, что диапазон химического состава вольфрамиты Букуинского месторождения находится в пределах, позволяющих отнести их к вольфрамиту с преобладанием марганца, формульные коэффициенты которого находятся в пределах 0.557–0.918. Во-вторых, среди них по составу выделяются три группы: 1) вольфрамит с



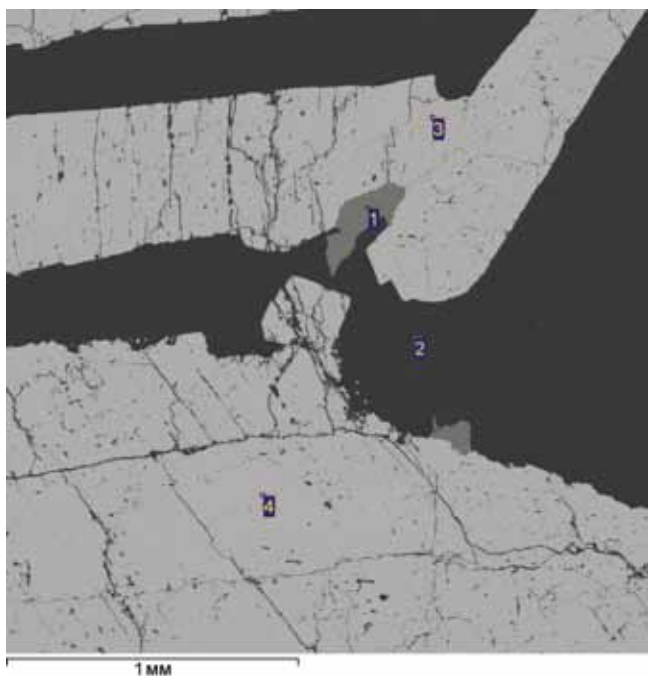
**Рис. 10.** Спектр флюорита, содержащего лантан, церий и иттрий. Обр. БК-16-1-2-1.

**Fig. 10.** Spectrum of fluorite containing lanthanum, cerium and yttrium. Sample БК-16-1-2-1.



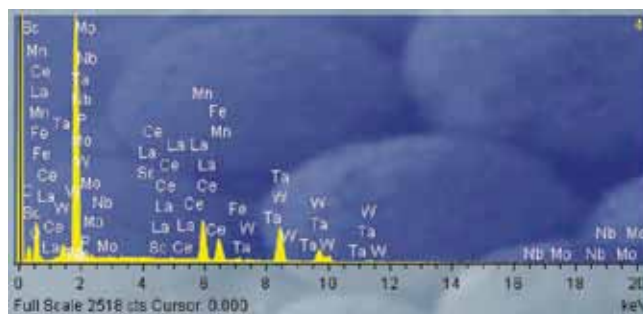
**Рис. 11.** Спектр фторапатита, содержащего лантан и церий. Обр. БК-16-4-2-2.

**Fig. 11.** Spectrum of fluorapatite containing lanthanum and cerium. Sample БК-16-4-2-2.



**Рис. 12.** Вольфрамит (3, 4) ранней генерации в ассоциации с кварцем (2) и халькопиритом (1). Обр. БК-49-1. Электронно-микроскопический снимок.

**Fig. 12.** Early generation wolframite (3, 4) in association with quartz (2) and chalcopyrite (1). Sample БК-49-1. Electron-microscopic image.



**Рис. 13.** Спектр вольфрамит, содержащего примесь церия и лантана. Обр. БК-49-1-4.

**Fig. 13.** Spectrum of tungsten containing an admixture of cerium and lanthanum. Sample. БК-49-1-4.

Спектры вольфрамит ранней генерации, содержащей висмутин, молибденит и халькопирит (рис. 12, 13), отличаются присутствием церия и лантана, указывающих на возможную примесь мельчайших индивидов монацита. Формулы их таковы:

- обр. БК-49-1-3 –  $(\text{Mn}_{0.618}, \text{Fe}_{0.401}) \text{W}_{0.993}\text{O}_4$ ;
- обр. БК-49-1-4 –  $(\text{Mn}_{0.637}, \text{Fe}_{0.344}) \text{W}_{1.007}\text{O}_4$ ;
- обр. БК-49-2-1 –  $(\text{Mn}_{0.586}, \text{Fe}_{0.429}) \text{W}_{0.995}\text{O}_4$ ;
- обр. БК-49-2-2 –  $(\text{Mn}_{0.557}, \text{Fe}_{0.46}) \text{W}_{0.994}\text{O}_4$ ;
- обр. БК-49-4-1-2 –  $(\text{Mn}_{0.69}, \text{Fe}_{0.298}) \text{W}_{1.004}\text{O}_4$ .

Примесь церия и лантана всегда присутствует также в относительно чистых гюбнеритах с формульным коэффициентом марганца 0.889–0.896, находящихся в сульфидно-кварцевой ассоциации, содержащей пирит, галенит, сфалерит и сульфосоли с наложенным на них железистым мусковитом. Формулы их следующие:

- обр. БК-70-4-6  $(\text{Mn}_{0.896}, \text{Fe}_{0.113}) \text{W}_{0.997}\text{O}_4$ ;
- обр. БК-70-4-7  $(\text{Mn}_{0.913}, \text{Fe}_{0.101}) \text{W}_{0.995}\text{O}_4$ ;
- обр. БК-70-5-1  $(\text{Mn}_{0.889}, \text{Fe}_{0.096}) \text{W}_{1.005}\text{O}_4$ .

пределами формульных коэффициентов марганца 0.557–0.708; 2) гюбнерит-вольфрамит с пределами формульных коэффициентов марганца 0.859–0.873 и 3) гюбнерит с пределами формульных коэффициентов марганца 0.896–0.918. Эта дискретность в какой-то мере свидетельствует о принадлежности вольфрамит к определенным минеральным ассоциациям, соответствующим стадийности по Д.О. Онтюеву (1974).



химическими признаками грейзеновых месторождений вольфрама и использоваться для рудноформационной типизации при их прогнозе и поисках.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балашов Ю.А. (1976) Геохимия редкоземельных элементов. М.: Наука, 267 с.
- Бескин С.М., Матиас В.В. (2006) Индикаторные минералы петролого-металлогенических вариантов гранитоидных серий (в салических геоблоках). *Современные проблемы сырьевой базы редких металлов России (1958–2006)*. М.: ВИМС, 149-154.
- Быбин Ф.Ф. (2003) Букука. *Энциклопедия Забайкалья. Т. II*. (Гл. ред. Р.Ф. Гениатулин). Новосибирск: Наука, 155.
- Виноградов А.П. (1962) Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. *Геохимия*, (7), 555-571.
- Вольфрамитовые месторождения. (1995) *Генезис вольфрамитовых месторождений*. Т. III. (Ред. В.Ф. Барабанов). СПб.: Изд. С.-Петербургского ун-та, 246 с.
- Гавриленко В.В., Гайдамако И.М., Смоленский В.В. (1995) Редкоземельные элементы, скандий и ниобий в вольфрамитах Баджальского рудного района (Дальний Восток). *Зап. ВМО*, (3), 48-56.
- Гайворонский Б.А. (1995) Букукинское месторождение. *Месторождения Забайкалья*. Т. I. Кн. 1 (Ред. акад. Н.П. Лаверов). М.; Чита: Геоинформрак, 146-148.
- Гребенников А.М. (2003) Букукинское месторождение вольфрама. *Энциклопедия Забайкалья. Т. II*. (Гл. ред. Р.Ф. Гениатулин). Новосибирск: Наука, 155.
- Добрецов Н.Л., Марин Ю.Б., Бескин С.М., Лесков С.А. (2007) Принципы расчленения и картирования гранитоидных интрузий и выделения петролого-металлогенических вариантов гранитоидных серий. СПб.: ВСЕГЕИ, 80 с.
- Дружинин А.В. (1968) Структурные условия локализации вольфрамового и молибденового оруденения в Восточном Забайкалье. *Изв. АН СССР. Сер. Геол.*, (8), 44-60.
- Дружинин А.В. (1978) Структуры рудных полей и месторождений вольфрама, олова и молибдена (Восточное Забайкалье). *Особенности геологии гидротермальных рудных месторождений*. М.: Недра, 136-167.
- Красильщикова О.А., Тарашан А.Н., Платонов А.Н. (1986) Окраска и люминесценция природного флюорита. Киев: Наук. Думка, 223 с.
- Левицкий О.Д. (1940) Вольфрамитовые месторождения Забайкалья. М.: Изд. АН СССР, 270 с.
- Онтюев Д.О. (1974) Стадийность минерализации и зональность месторождений Забайкалья. М.: Наука, 244 с.
- Попова Ю.А., Бычков А.Ю., Матвеева С.С. (2016) Геохимические особенности поведения лантаноидов при формировании месторождения Светлое (Чукотка). *Геохимия*, (8), 761-768.
- Попова Ю.А., Матвеева С.С., Бычков А.Ю., Тарнопольская М.Е., Бычкова Я.В. (2017) Поведение лантаноидов при формировании минерализованных куполов на примере Спокойнинского месторождения (Забайкалье). *Геохимия*, (2), 178-185.
- Семенов Е.И. (1963) Минералогия редких земель. Изд-во АН СССР. 412с.
- Скурский М.Д., Морозов Ф.М., Бабкин А.С., Гайворонский Б.А., Гребенников А.М. (1975) Вольфрамитовые рудные формации и минеральные типы рудопоявлений вольфрама Забайкалья. *Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений*. Труды III Всесоюзного совещания по минералогии, геохимии, генезису и комплексному использованию вольфрамовых месторождений СССР. Л.: Изд-во. Ленингр. ун-та, 203-208.
- Сушинский П.П. (1917) Заметка о геологическом строении некоторых новых месторождений вольфрамита в Южном Забайкалье. *Изв. Акад. Наук*, (8), 567-590.
- Тетяев М.М. (1918) Вольфрамовые и оловянные месторождения Онон-Борзинского района Забайкальской области. *Материалы по общ. и прикл. геологии*. Петроград, 32, 15-33.
- Типоморфизм минералов: Справочник. (1989) Под ред. Л.В. Чернышевой. М.: Недра, 560 с.
- Файзинов А.Р., Искандеров Ф.Ш., Гафуров Ф.Г. (2000) Условия кристаллизации флюорита в редкоземельно-флюоритовом месторождении Дункельдык (Восточный Памир). *Тр. ВНИИ синтеза минерал. сырья*, 16, 369-374.
- Флейшер М. (1990) Словарь минеральных видов. М.: Мир, 206 с.
- Юргенсон Г.А., Прокофьев В.Ю., Кононов О.В. (2018) Физико-химические условия формирования камне-самоцветной и редкометалльной минерализации месторождения Шерлова Гора (Юго-Восточное Забайкалье, Россия). *XVIII Всероссийская конференция по термобарогеохимии, посвященная 100-летию со дня рождения профессора Юрия Александровича Долгова (1918 – 1993) / Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН*. М.: Изд-во Первого МГМУ имени И.М. Сеченова. 156-158.
- Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Филенко Р.А. (2020) Церий в компонентах ландшафта Шерловгорского горнорудного района (Юго-Восточное Забайкалье). *Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 331(3), 159-173. DOI: 10.18799/24131830/2020/3/2559
- Kasatkin A.V., Klopotov K.I., Plášil J. (2014) Supergene minerals of Sherlova Gora. *Mineralogical Almanac, Mineral-Almanac Limited Lakewood, USA*, 19, (2), 94-139.
- Malcolm E. Back. (2014) Fleischer's Glossary of Mineral Species. Tucson. The Mineralogical Record Inc., 420 p.
- Yurgenson G.A., Bychkov A. Yu., Kononov O.V., Popova J.A. (2017) REE in wolframites from Sherlova Gora gems mine (Transbaikalia, Russia). *Goldschmidt Abstr.*, 4443.
- Yurgenson G., Kononov O. Sherlova Gora: Deposit for Gemstones and Rare Metals. Sherlova Gora/Mineralogical Almanac, volume 19, issue 2, 2014, Lakewood, USA: Mineral-Almanac Ltd., 12-93.

## REFERENCES

- Balashov Yu.A. (1976) Geochemistry of rare earth elements [Geochemistry of rare earth elements]. Moscow, Nauka Publ., 267 p. (In Russian)
- Beskin S.M., Matias V.V. (2006) Indicator minerals of petrologic-metallogenic variants of granitoid series (in salic geoblocks). *Sovremennye problemy syr'evoy bazy redkikh metallov Rossii (1958–2006)* [Modern problems of the raw materials base of rare metals of Russia (1958–2006)]. Moscow, VIMS Publ., 149-154. (In Russian)



- Bybin F.F. (2003) Bukuka. *Entsiklopediya Zabaikal'ya* [Encyclopedia of Transbaikalia]. V.II. (Ch. ed. R.F. Geniatulin). Novosibirsk, Nauka Publ., 155. (In Russian)
- Gaivoronskii B.A. (1995) Bukukinskoye deposit. *Mestorozhdeniya Zabaikal'ya* [Deposits of Transbaikalia]. V. I, B. 1. (Ed. Acad. N.P. Laverov). Moscow; Chita, Geoinformmrak Publ., 146-148. (In Russian)
- Gavrilenko V.V., Gaidamako I.M., Smolenskii V.V. (1995) Rare earth elements, scandium and niobium in wolframites of the Badzhal ore district (Far East). *Zapiski Vsesoyuzn. Mineral. Obshch-va*, (3), 48-56. (In Russian)
- Grebennikov A.M. (2003) Bukukinskoye tungsten deposit. *Entsiklopediya Zabaikal'ya* [Encyclopedia of Transbaikalia]. V.II. (Ch. ed. R.F. Geniatulin). Novosibirsk, Nauka Publ., 155. (In Russian)
- Dobretsov N.L., Marin Yu.B., Beskin S.M., Leskov S.A. (2007) *Printsipy raschleneniya i kartirovaniya granitoidnykh intruzii i vydeleniya petrologo-metallogenicheskikh variantov granitoidnykh serii* [Principles of dismemberment and mapping of granitoid intrusions and separation of petrologic-metallogenic variants of granitoid series]. St.Petersburg, VSEGEI Publ., 80 p. (In Russian)
- Druzhinin A.V. (1968) Structural conditions for the localization of tungsten and molybdenum mineralization in East Transbaikalia. *Izv. Akad. Nauk SSSR. Ser. Geol.*, (8), 44-60. (In Russian)
- Druzhinin A.V. (1978) Structures of ore fields and deposits of tungsten, tin and molybdenum (East Transbaikalia). *Osobennosti geologii gidrotermal'nykh rudnykh mestorozhdenii* [Features of the geology of hydrothermal ore deposits]. Moscow, Nedra Publ., 136-167. (In Russian)
- Faiziev A.R., Iskanderov F.Sh., Gafurov F.G. (2000) Fluorite crystallization conditions in the rare-earth fluorite deposit Dunkeldyk (Eastern Pamir). *Trudy VNII sinteza mineral'nogo syr'ya* [Proc. All-Russian Science-Research Institute of Mineral Raw Synthesis], (16), 369-374. (In Russian)
- Fleisher M. (1990) Slovar' mineral'nykh vidov [Glossary of mineral species]. Moscow, Mir Publ., 206 p. (In Russian)
- Kasatkin A.V., Klopotov K.I., Plášil J. (2014) Supergene minerals of Sherlova Gora. *Mineralogical Almanac*, Mineral-Almanac Limited Lakewood, USA, **19**(2), 94-139.
- Malcolm E. Back. (2014) Fleischer's Glossary of Mineral Species. Tucson. The Mineralogical Record Inc. 420 p.
- Krasil'shchikova O.A., Tarashchan A.N., Platonov A.N. (1986) Okraska i lyuminesstentsiya prirodnogo flyuorita [Coloring and luminescence of natural fluorite]. Kiev, Nauk. Dumka, 223 p. (In Russian)
- Levitskii O.D. (1940) Vol'framitovyie mestorozhdeniya Zabaikal'ya [Wolframite deposits of Transbaikalia]. Moscow, Publishing House of the Akad. Nauk SSSR, 270 p. (In Russian)
- Ontoev D.O. (1974) Stadiinost' mineralizatsii i zonal'nost' mestorozhdenii Zabaikal'ya [Stadiality of mineralization and zoning of deposits in Transbaikalia]. Moscow, Nauka Publ., 244 p. (In Russian)
- Popova Yu.A., Bychkov A.Yu., Matveeva S.S. (2016) Geochemical features of the behavior of lanthanides during the formation of the Svetloye deposit (Chukotka). *Geokhimiya*, (8), 761-768. (In Russian)
- Popova Yu.A., Matveeva S.S., Bychkov A.Yu., Tarnopol'skaya M.E., Bychkova Y.V. (2017) The behavior of lanthanides during the formation of mineralized domes using the example of the Spokoininsky deposit (Transbaikalia). *Geokhimiya*, (2), 178-185. (In Russian)
- Semenov E.I. (1963) *Mineralogiya redkikh zemel* [Mineralogy of Rare earths]. Moscow, AN SSSR Publ., 412 p.
- Skurskii M.D., Morozov F.M., Babkin A.S., Gaivoronskii B.A., Grebennikov A.M. (1975) Tungsten ore formations and mineral types of ore occurrences of tungsten Transbaikalia. *Mineralogiya i geokhimiya vol'framovykh mestorozhdenii. Trudy III Vsesoyuznogo soveshchaniya po mineralogii, geokhimii, genezisu i kompleksnomu ispol'zovaniyu vol'framovykh mestorozhdenii SSSR* [Mineralogy and geochemistry of tungsten deposits. Proceedings of the III All-Union meeting on mineralogy, geochemistry, genesis and integrated use of tungsten deposits of the USSR]. Leningrad, Publishing house of Leningrad University, 203-208. (In Russian)
- Sushchinskii P.P. (1917) A note on the geological structure of some new deposits of wolframite in the South Transbaikalia. *Izv. Akad. Nauk*, (8), 567-590. (In Russian)
- Tetyaev M.M. (1918) Tungsten and tin deposits of the Onon-Borzinsky district of the Transbaikalian region. *Materialy po obshch. i prikl. geologii*. Petrograd, (32), 15-33. (In Russian)
- Tipomorfizm mineralov: Spravochnik. (1989) [Typomorphism of Minerals: A Guide] (Ed. L.V. Chernysheva). Moscow, Nedra Publ., 560 p. (In Russian)
- Vinogradov A.P. (1962) Average contents of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust. *Geokhimiya*, (7), 555-571. (In Russian)
- Wolframite deposits. (1995) *Genezis vol'framovykh mestorozhdenii. T. III* [Genesis of tungsten deposits. V. III]. (Ed. V.F. Barabanov). St.Petersburg, Publishing House of the St. Petersburg University, 246 p. (In Russian)
- Yurgenson G.A., Bychkov A.Yu., Kononov O.V., Popova J.A. (2017) REE in wolframites from Sherlova Gora gems mine (Transbaikalia, Russia). *Goldschmidt Abstr.*, 4443.
- Yurgenson G., Kononov O. (2014) Sherlova Gora: Deposit for Gemstones and Rare Metals. Sherlova Gora. *Miner. Almanac*, **19**(2), Lakewood, USA: Mineral-Almanac Ltd., 12-93.
- Yurgenson G.A., Prokofiev V.Yu., Kononov O.V. (2018) Physico-chemical conditions for the formation of gems and rare metal mineralization of the Sherlova Gora deposit (South-Eastern Transbaikalia, Russia). *XVIII Vserossiiskaya konferentsiya po termobarogeokhimi, posvyashchennaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora Yuriya Aleksandrovicha Dolgova (1918–1993). Mineralogicheskii muzei imeni A.E. Fersmana RAN* [XVIII All-Russian Conference on Thermobarogeochemistry dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor Yuri Alexandrovich Dolgov (1918–1993). Mineralogical Museum named after A.E. Fersman RAS]. Moscow, Publishing house of the First Moscow State Medical University named after I.M. Sechenov, 156-158. (In Russian)
- Yurgenson G.A., Solodukhina M.A., Filenko R.A. (2020). Cerium in landscape components of the Sherlovogorsk mining region (South-Eastern Transbaikalia) *Izv. Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, **331** (3), 159-173. (In Russian) DOI: 10.18799/24131830/2020/3/2559