

Научная статья  
УДК 550.47  
doi: 10.17223/25421379/22/4

## МИНЕРАЛЫ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АНТОНОВА ГОРА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Георгий Александрович Юргенсон

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук,  
Чита, Россия, yurgga@mail.ru*



**Аннотация.** Редкоземельная минерализация в месторождении вольфрама Антонова Гора в Забайкалье связана с ксенотимом и монацитом, присутствующих в ассоциации с вольфрамитом, сульфидами, мусковитом. Выявлено преобладание тяжелых лантаноидов в руде с высоким содержанием вольфрамита и сульфидов. Подтвержден вывод о возрастании коэффициента концентрации тяжелых лантаноидов в зависимости от уменьшения их ионного радиуса, установленный для примесей редкоземельных элементов в вольфрамите Шерловой Горы, где они входят в состав микровключений монацита.

**Ключевые слова:** редкоземельные элементы, монацит, ксенотим, вольфрамит, коэффициент концентрации, месторождение Антонова Гора, Восточное Забайкалье

**Благодарности:** автор признателен Р.А. Филенко за участие в оформлении статьи.

**Для цитирования:** Юргенсон Г.А. Минералы редких земель месторождения Антонова Гора (Восточное Забайкалье) // Геосферные исследования. 2022. № 1. С. 68–76. doi: 10.17223/25421379/22/4

Original article  
doi: 10.17223/25421379/22/4

## RARE EARTH MINERALS OF THE ANTONOVA GORA DEPOSIT (EASTERN TRANSBAIKALIA)

Georgi A. Yurgenson

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia,  
yurgga@mail.ru*

**Abstract.** For the time, the contents of rare- 13.27 ppm for poor associations. The rare-earth elements in the tungsten deposits of Antonova Gora in Transbaikalia are associated with xenotime and monazite, which are closely associated with wolframite, sulfides and muscovite. Monazite is characterized by a clear predominance of cerium over lanthanum and high neodymium contents, variable thorium content, the presence of calcium and the absence of uranium. Feature of xenotime is the wide isomorphism of heavy lanthanides (Dy, Er, Yb, Lu), a high content of ytterbium (up to 19.61%), lutetium (up to 3.28%), the complete absence of thorium and, in only one case, uranium. The predominance of heavy lanthanides over the tungsten was revealed in association with a high content of wolframite and sulfides. The conclusion is confirmed that the concentration coefficient of heavy lanthanides increases, depending on a decrease in their ionic radius and independent of their Clarke. This is due, as we identified earlier for the distribution of lanthanides in the wolframite of Sherlova Gora, to the accumulation of heavy REEs in residual melts producing wolframite and the associated monazite and xenotime. This is a consequence of lanthanide compression, the fundamental crystal-chemical property of REE.

**Keywords:** rare earth elements, monazite, xenotime, tungsten, Antonova Gora deposit, East Transbaikalia

**Acknowledgments:** The author is grateful to R.A. Filenko for his participation in the design of the article.

**For citation:** Yurgenson, G.A. (2022) Rare earth minerals of the Antonova Gora deposit (Eastern Transbaikalia). *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 1. pp. 68–76. doi: 10.17223/25421379/22/4

### Введение

Интерес к редкоземельным элементам (РЗЭ) обусловлен их особыми свойствами и все возрастающим использованием в современной, в частности СВЧ-электронике, фотоэлектронике, нефтепереработке, легировании металлических сплавов и других

современных технологиях, а также в познании геологических процессов. Этому способствовало создание уникальных сводок по геохимии и минералогии редких металлов, в том числе и РЗЭ, выполненных Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов под руководством К.А. Власова [Власов, 1964]. Было выявлено их существен-

ное индикаторное значение для прогнозирования связанного с гранитоидами и щелочными породами оруденения с использованием ассоциаций акцессорных минералов, прежде всего монацита и ксенотима: М.Д. Скурским и соавт. [Скурский и др., 1975] показано, что для вольфрамоносных литий-фтористых гранитов кукульбейского комплекса, с которыми в Забайкалье связана редкометалльная и грейзеновая вольфрамитсодержащая минерализация, типична монацит-ксенотимовая акцессорная минеральная ассоциация.

С.М. Бескиным и В.В. Матиасом ассоциации акцессорных, в том числе редкоземельных минералов рассмотрены как индикаторные минералы петролого-металлогенических вариантов гранитоидных серий [Бескин, Матиас, 2006]. В результате 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-сурьмяных и оптического флюорита – с гранитоидным. Поэтому различное поведение РЗЭ, входящих в эти группы, выявленное для кварцевых жил с вольфрамитом, представляется весьма интересным. Изучение Шерловогорского рудного поля, включающего олово-полиметаллические месторождения Сопка Большая и Восточная аномалия, висмута, олова, вольфрама, бериллия с камнесамоцветным сырьем Шерловая Гора, показало, что во вмещающих горных породах, рудах, минералах и отходах горного производства [Kasatkin et al., 2014; Yurgenson, Kononov, 2014] РЗЭ связаны преимущественно с монацитом и ксенотимом, а также с флюоритом. Кроме того, здесь установлен Y-агардит  $(Y, Ca)Cu_6[AsO_4]_3(OH)_6 \cdot 3H_2O$  и изучен его химический состав [Kasatkin et al., 2014]. Содержания РЗЭ установлены также и в вольфрамите [Yurgenson et al., 2017] в виде микровключений монацита. При этом было определено, что в нем содержания тяжелых РЗЭ преобладают над легкими. Распространенность РЗЭ во флюорите месторождений вольфрама Светлое на Западной Чукотке [Попова и др., 2016] и Спокойнинское в Забайкалье изложена в работах [Попова и др., 2016; Попова и др., 2017]. Редкоземельные элементы, скандий и ниобий в вольфрамите изучались В.В. Гавриленко и соавт. на примере Баджальского рудного района в Приморье [Гавриленко и др., 1995]. Но формы их вхождения в вольфрамит не выявлены. Поэтому изучение количеств и форм вхождения РЗЭ в вольфрамит-кварцевые руды месторождения Антонова Гора представляется весьма важным для жильных руд.

Месторождение вольфрама Антонова Гора, или Антоновогорское, находится в Юго-Восточном Забайкалье, в 45 км к СВ от ж.-д. ст. Хадабулак на высшей точке хр. Кукульбей Антоновой горе (рис. 1).

Месторождение открыто в 1915 г. местными жителями, хотя заявки поступали и с 1912 г. Разведка и изучение начаты П.П. Сущинским в 1916 г., с 1931 г. разведывалось А.Н. и В.А. Ассовскими. Связано с Соктуйским массивом кукульбейского гранитного комплекса юрского возраста [Вольфсон и др., 1968; Барабанов, 1975; Гребенников, 2003] (рис. 2), прорывающим интенсивно метаморфизованные песчанико-сланцевые толщи онон-борзинской свиты раннеюрского возраста. Согласно данным М.И. Кузьмина [Кузьмин, 1966], абсолютный возраст гранитов главной фазы оценивается в 135 млн лет. В пределах рудного поля песчаники и сланцы грейзенизированы с образованием наложенных сидерофиллит-мусковит-кварцевых ассоциаций с флюоритом, сульфидами. Глинистые сланцы превращены в кварц-мусковит-стильпномелановые узловатые микросланцы, рассеченные флюорит-пирит-слюдисто-кварцевыми прожилками. В непосредственной близости от контактов с гранитами сланцы слабо ороговикованы. В рудном поле площадью около 1 км<sup>2</sup> известно около 200 кварцевых жил. Из них 40 продуктивны на вольфрам. Геологическое строение месторождения представлено на рис. 2.

Граниты Антоновогорского массива на участках развития рудоносных жил грейзенизированы. Грейзенизация проявляется в интенсивном развитии железистого мусковита, новообразованного кварца, флюорита и сульфидов, среди которых преобладает пирит. В грейзене нередко присутствует вольфрамит, редко – сфалерит, молибденит, висмутин, сульфосоли висмута. Изредка встречаются топаз, турмалин, касситерит. Особенностью грейзенов Антоновогорского месторождения является обогащенность их серебром [Мухамедшин, Юргенсон, 1986]. Кварц-вольфрамитовые жилы приурочены к разрывам северо-восточного направления и крутого (80–85°) северо-западного падения.

Мощность жил 0,2–1,5 м, они прослежены по простиранию до 800 м. На глубине 100–150 м от поверхности земли большинство их, по данным разведки, выклинивается в связи с тем, что вмещающий их гранитный массив, имеющий форму лополита, ограничен снизу подстилающими метаморфизованными песчаниками и сланцами онон-борзинской свиты.

Минеральный состав жил относительно простой. Главными минералами являются кварц, вольфрамит, пирит, железистый мусковит, флюорит. Второстепенные представлены сфалеритом, халькопиритом, висмутином, шеелитом, касситеритом, козалитом и др.

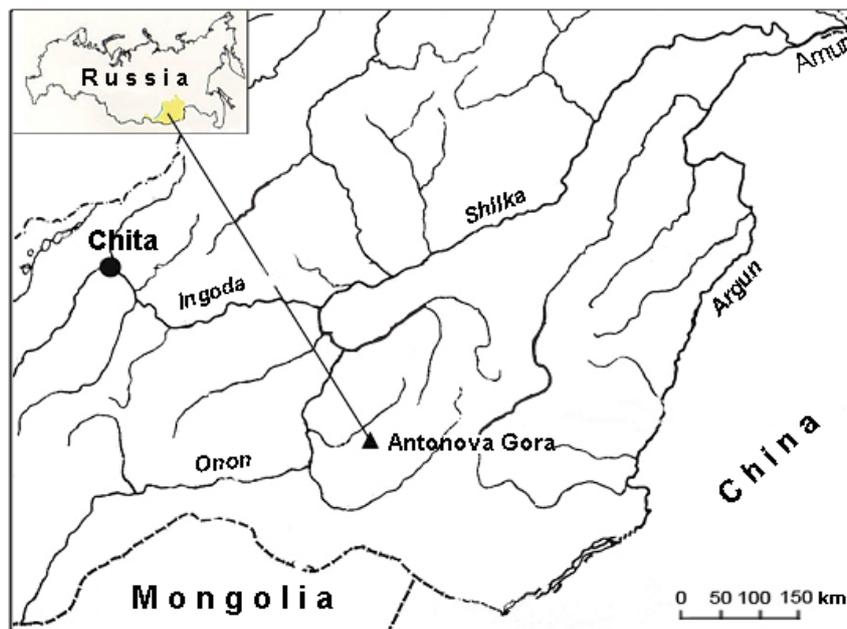


Рис. 1. Местоположение месторождения Антонова Гора

Fig. 1. Location of Antonova Gora deposit

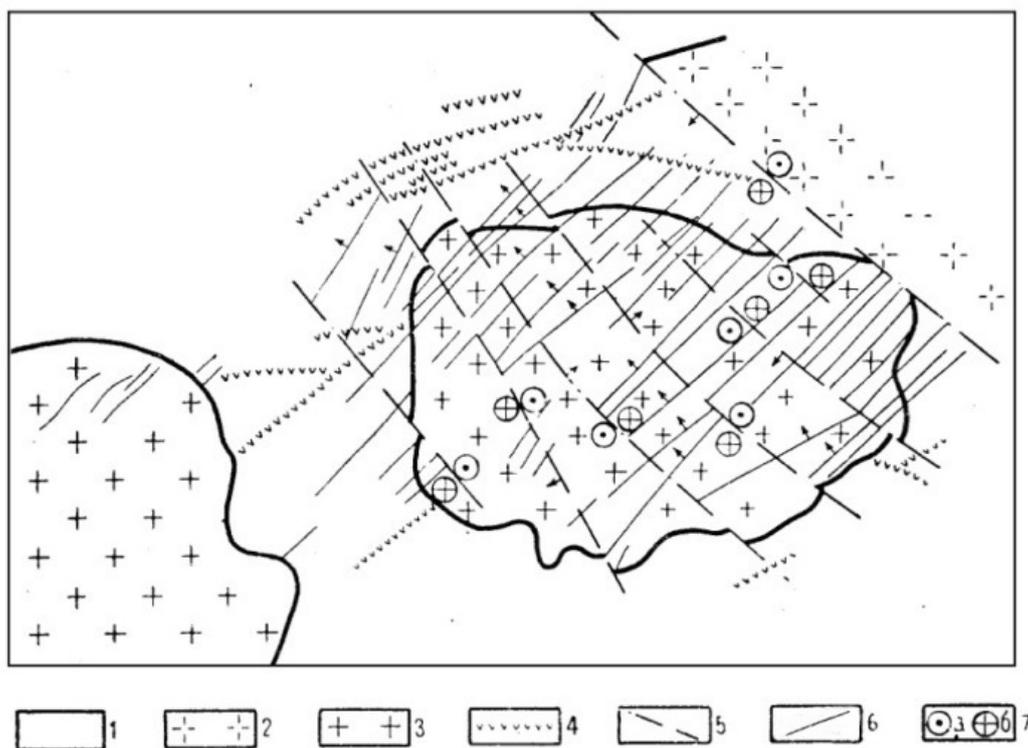


Рис. 2. Схематическая геологическая карта месторождения Антонова Гора [Вольфсон и др., 1968]

1 – песчаники и сланцы олон-борзинской свиты юрского возраста, 2 – биотитовые граниты, 3 – двуслюдяные граниты Антоновогорского массива, 4 – дайки диоритовых порфиритов, 5 – дизъюнктивные нарушения, 6 – кварц-вольфрамитовые жилы, 7 – относительные движения блоков: а – вверх, б – вниз

Fig. 2. Schematic geological map of the Antonova Gora deposit [Wolfson et al, 1968]

1 – sandstones and schists of the Onon-Borzin suite of Jurassic age, 2 – biotite granites, 3 – two-mica granites of the Antonovogorsky massif, 4 – diorite porphyrite dikes, 5 – disjunctive disturbances, 6 – quartz-tungsten veins, 7 – relative block movements: a – up, b – down

Среди жильных минералов наряду с кварцем развиты микроклин, альбит, турмалин, поздние карбонаты – кальцит и, реже, анкерит и сидерит. Редко встречаются хлорит, топаз, апатит. Руды отличались крупными кристаллами вольфрамита до 10–20 см. Вольфрамит в жилах в сланцах содержал 18–32 % ферберитовой молекулы, а в гранитах – 39. В вольфрамитовых породах присутствует Nb (0,70 % Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) [Барабанов, 1975]. По нашим данным, вольфрамит содержит 1,54–1,79 % Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Среднее содержание WO<sub>3</sub>, по данным разведки, составило на верхних горизонтах 1,0–1,5 %, на глубинах более 50–80 м 0,28–0,31 %. Среднее содержание, по данным отработки, составило 0,42–0,66 %. Запасы составляли 5076 т WO<sub>3</sub> [Гребенников, 2003].

В процессе отработки месторождения изучение химизма и минералогии РЗЭ не проводилось. Отметим лишь, что у В.Ф. Барабанова [Барабанов, 1975] имеются весьма краткие сведения о содержании их в минералах месторождения Антонова Гора. В отдельных пробах вольфрамитовых пород спектральным анализом был установлен иттрий в количестве 5–70 г/т и иттербий 20–30 г/т. В мусковите выявлено содержание иттрия до 10 г/т, во флюорите 150–700 г/т, иттербия 2–10 г/т. Иттербий установлен также до 1 г/т в берилле и сфалерите [Барабанов, 1975]. Этим исчерпываются сведения о содержании РЗЭ в горных породах, рудах и минералах Антоновой Горы. Более того, В.Ф. Барабанов предложил в формулу вольфрамитовых пород включить «Y и TR» [Барабанов, 1975, с. 262]. Вмещающие граниты кукульбейского комплекса, по данным М.Д. Скурского и соавт. [Скурский и др., 1975], содержали монацит и ксенотим в количестве до 140 и 40 г/т соответственно.

Актуальность работы заключается в необходимости получения данных о содержании, минеральных формах РЗЭ в руде месторождений грейзеновой формации и приуроченности их к определенным минеральным ассоциациям на примере месторождения Антонова Гора, аналоги которого широко распространены в Забайкалье и Монголии. Целью работы является изучение содержания РЗЭ в жильном материале месторождения, определении их минеральной природы и химического состава редкоземельных минералов, объектом исследования – минеральные ассоциации кварц-вольфрамитовых жил Антоновогорского месторождения.

### Материал и методы исследования

Месторождение посещено автором в 2014 г. с целью изучения строения и минерального состава кварц-вольфрамитовых жил, а также почв и техноземов хвостохранилища. Общее число образцов для минералогических исследований 143. Из них изготовлено 26 аншлифов и 28 прозрачных шлифов. Минеральный состав руд исследован в шлифах и аншлифах с помощью оптического поляризационного микроскопа Axio Scope

AI (Carl Zeiss, Германия), а также электронно-зондовым методом на растровом электронном микроскопе LEO 1430 VP (Carl Zeiss, Германия) (аналитики Е.А. Хромова, Е.В. Ходырева, ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, руководитель лаборатории канд. техн. наук С.В. Канакин). Для определения химического состава жильного материала с различным содержанием рудных минералов подготовлены две групповые пробы. Химические анализы выполнены силикатным анализом (для общего анализа проб материала жил с высоким содержанием кремнезема), методом ICP-MS (методики GO\_ICP95A50, ICP90A и ICM40B) в лаборатории ОАО «Восток лимитед» (руководитель Т.Л. Попова). Чувствительность определения химических элементов в зависимости от методики составила, г/т: Zn – 5 и 10; Cu – 0,5 и 10; W – 0,1 и 50; Nb – 0,1 и 10; Ta 0,7; Cd – 0,01; La, Y, Yb – 0,1; Ce, Pr, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm – 0,05; Lu – 0,01.

### Результаты и их обсуждение

В двух групповых пробах рудного жильного материала, различающихся по содержанию кварца, сульфидов и вольфрамитов (табл. 1), определено содержание РЗЭ. В пробе 1 содержание рудных около 10 %, в пробе 2 не более 1,5 %. Соответственно, как видно из табл. 1, различается содержание химических элементов, входящих в состав рудных минералов, в частности сульфидов и вольфрамитов. Отмечено, что железо, марганец и вольфрам, слагающие вольфрамит, четко преобладают в пробе 1. В ней же отмечено и преобладание меди, цинка и кадмия, входящих в состав сульфидов, а также тантала и ниобия, входящих, вероятно, в вольфрамит или образующих собственные минералы. Для этой пробы характерно и относительно низкое содержание кремнезема (81 %) в отличие от пробы 2, преимущественно состоящей из кварца (98 %). Общее суммарное содержание в них РЗЭ невелико и в разных пробах варьирует от 13,27 до 15,12 г/т, включая иттрий (3,5–4,7 г/т). Однако эти различия, кажущиеся несущественными, как показано ниже, достаточно принципиальны и имеют фундаментальные причины. Результаты определения содержания лантаноидов и коэффициенты их концентраций в этих пробах приведены на рис. 3.

На рис. 3 видно, что в пробе с меньшим содержанием рудных минералов (проба 2) преобладают легкие лантаноиды, а в пробе с относительно большим их содержанием (проба 1), начиная с тербия – тяжелые лантаноиды. При этом различия возрастают с увеличением атомного номера элемента, максимума достигая для лютеция. Для всех тяжелых характерно более высокое содержание в пробе с рудной минеральной ассоциацией. Эти различия усиливаются при рассмотрении коэффициентов концентрации элементов относительно кларка земной коры (см. верхнюю часть рис. 3).

Содержание рудных элементов и SiO<sub>2</sub> в групповых пробах

Table 1

The content of ore elements and SiO<sub>2</sub> of the group samples

Номер пробы	Компонент и его содержание, мас. %								
	Fe	Cu	W	Mn	Zn	Nb	Ta	Cd	SiO <sub>2</sub>
1	2,99	0,1214	6,8	0,239	0,0422	0,0070	0,0047	0,00056	81
2	1,37	0,0033	0,25	0,026	0,0114	0,0010	0,0007	0,00015	98

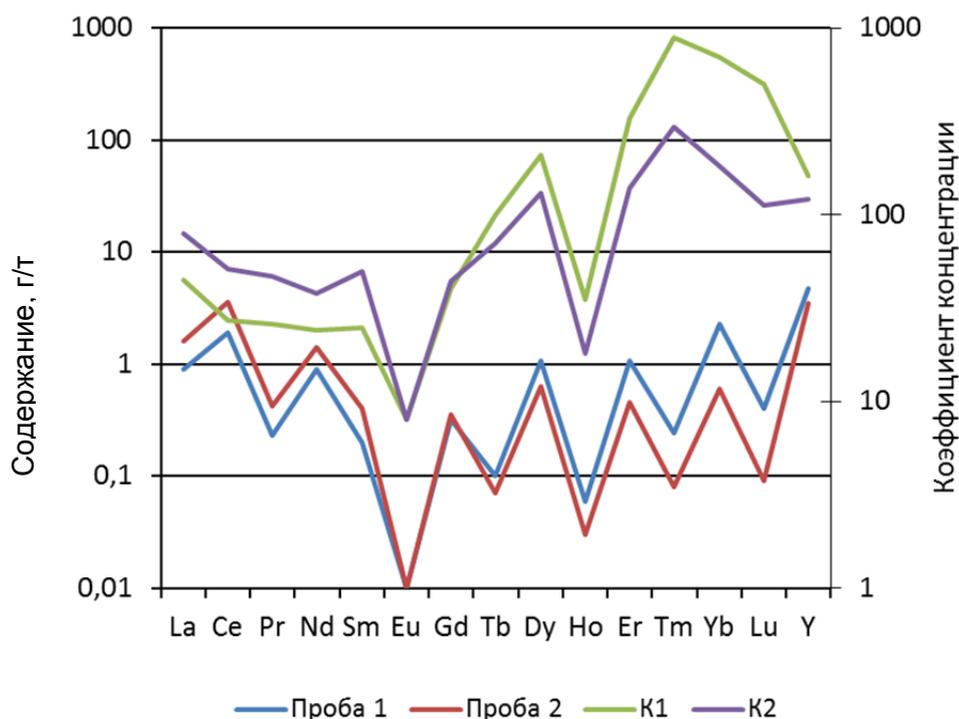


Рис. 3. Содержание РЗЭ в изученных групповых пробах (проба 1 и проба 2, г/т) и коэффициент концентрации (нормированное относительно кларка земной коры) для проб 1 (K1) и 2 (K2)

Fig. 3. The REE content in the studied group samples (sample 1 and sample 2, ppm) and the concentration coefficient (normalized relative to the clarke of the earth's crust) for samples 1 (K1) and 2 (K2)

Эти изменения соответствуют возрастанию атомного номера и плотности элемента и уменьшению его ионного радиуса.

Подобное соотношение между легкими и тяжелыми РЗЭ наблюдалось для вольфрамит Шерловой Горы [Yurgenson et al., 2017], в котором был определен монацит. Причина такого распределения легких и тяжелых РЗЭ кроется в том, что тяжелые РЗЭ, средние содержания в земной коре которых меньше таковых для легких, дольше остаются в расплаве, так как не могут дать собственных минеральных фаз и накапливаются в остаточных расплавах [Yurgenson et al., 2017; Юргенсон и др., 2018], с которыми связано формирование грейзенов и рудоносных жил. Одной из причин такого поведения тяжелых РЗЭ в магматическом процессе может быть их фундаментальное свойство, проявляющееся в лантаноидном сжатии. Общее содержание РЗЭ в изучаемых минеральных

ассоциациях, как показано выше, невелико и меньше их кларков, но общие закономерности их распределения, обусловленные фундаментальными свойствами РЗЭ, тем не менее, проявлены достаточно ярко.

В результате изучения руд и грейзенов в прозрачных шлифах и аншлифах, подтвержденное электронно-микроскопическими исследованиями, установлено присутствие ксенотима и монацита. Размеры их выделений достаточно невелики и находятся в пределах сотых долей миллиметров, а формы вследствие тесных сростаний с ассоциирующими с ними минералами неправильны (рис. 4). Они обнаружены в виде включений в вольфрамите в ассоциации с кварцем, мусковитом и фосфатом, содержащим висмут, свинец и алюминий. Взаимоотношения ксенотима и монацита с вольфрамитом достаточно хорошо видны на представленных на рис. 4, 5 электронно-микроскопических снимках. Для наглядности они

даны как в черно-белом, так и в цветном вариантах. В разбитом трещинами блоке вольфрамита в трещине находятся два фрагмента ксенотима (1, 2).

Хорошо видно, что оба оранжевых блока окружены желтыми оторочками фосфата висмута, свинца и алюминия, внедряющимися в трещины в вольфрамите, отображающимися темно-серым на черно-белом варианте снимка (точки измерения 3–5). В этих же трещинах находится более поздний кварц.

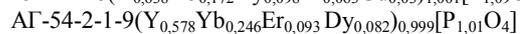
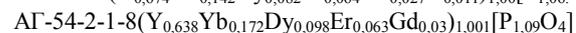
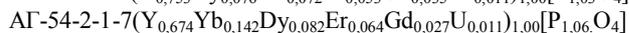
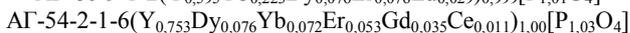
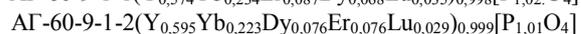
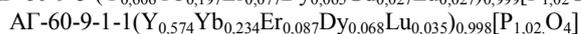
Ксенотим определен также в образце АГ-54-2-1в ассоциации с монацитом, мусковитом, кварцем и вольфрамитом (рис. 5, а, б).

Размеры индивидов монацита и ксенотима находятся в пределах 0,01–0,1 мм. Монацит расколот и заключен в ксенотиме. Отсюда следует, что он образовался раньше ксенотима. Это обусловлено тем, что легкие РЗЭ (Ce, La, Pr, Nd и Sm), входящие в монацит в рудной ассоциации, имея более высокие содержания (рис. 3), нежели тяжелые, должны выделяться в твердую фазу раньше. При этом тяжелые РЗЭ, оставаясь в минералообразующей системе, продолжают накапливаться в остаточном флюиде до момента наступления пересыщения ими и выделения в составе ксенотима. В этом заключается относительное накопление тяжелых РЗЭ относительно легких.

Здесь ксенотим, как видно на цветном варианте, зонален. По составу эти зоны несколько различают-

ся (табл. 2): желтые участки (точки 6 и 10) слагают центральные части индивидов ксенотима и содержат больше иттрия (34,1 и 32,21 % соответственно) и гадолиния (2,86 и 2,55 %), но меньше иттербия (6,3 и 6,44 %). Образец АГ-60 отличается от образца АГ-54 присутствием лютеция. Уран установлен лишь в одной точке измерения в образце АГ-54.

Пересчет анализов на  $O_4$  дал вполне удовлетворительные формульные коэффициенты, позволившие получить формулы ксенотима, представленные ниже.



Приведенные формулы ксенотима указывают на незначительный избыток фосфора по сравнению с суммой катионов, представленных РЗЭ и ураном, если он есть.

Особенностью ксенотима является недостаток иттрия, замещенного в основном тяжелыми РЗЭ иттриевой группы, что, в принципе, соответствует распределению их в рудной минеральной ассоциации, представленной на рис. 3.

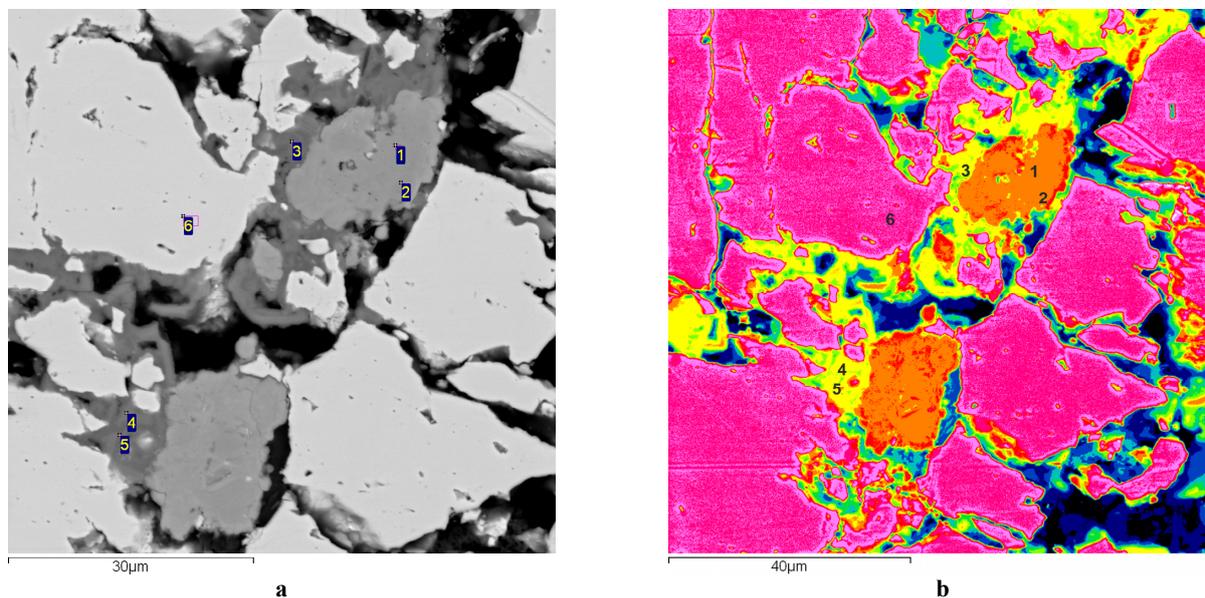
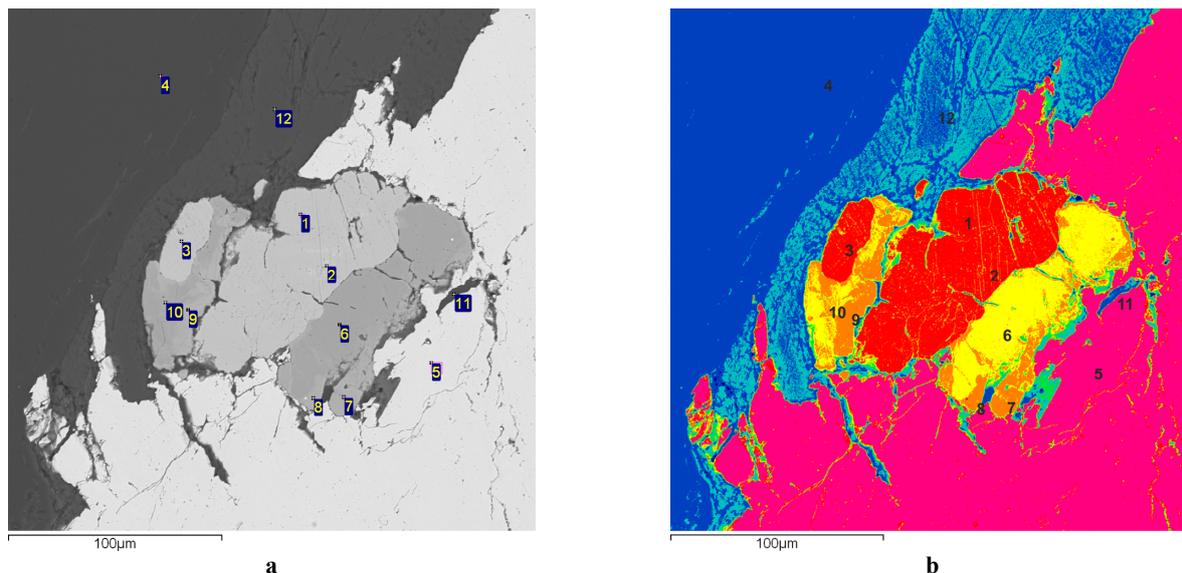


Рис. 4. Формы выделений минералов

а – ксенотима (1, 2), фосфата (3–5) и вольфрамита (6), б – ксенотим – оранжевый, Pb, Bi, Al-фосфат – желтый, вольфрамит – розовый, кварц – синий. Образец АГ-60-9-1. Электронно-микроскопический снимок в разных режимах

Fig. 4. Forms of mineral secretions

а – xenotime (1, 2), veylendit (?) (3–5) and wolframite (6), б – xenotim – orange, Pb, Bi, Al-phosphate – yellow, wolframite – pink, quartz - blue. Sample АГ-60-9-1. Electron microscopic image in different modes



**Рис. 5. Вольфрамит (5) в ассоциации с монацитом (1–3), ксенотимом (6–10) в окружении мусковита (11–12) и кварца (4)**

На цветном варианте вольфрамит – розовое, монацит – красное, ксенотим желтое и оранжевое, мусковит – голубое, кварц – синее – Обр.АГ-54-2-1. Электронно-микроскопический снимок в разных режимах

**Fig. 5. Wolframite (5) in association with monazite (1–3), xenotime (6–10), surrounded by muscovite (11–12) and quartz (4)**

In the color version, tungsten is pink, monazite is red, xenotime is yellow and orange, muscovite is blue, quartz is blue – Sample AG-54-2-1. Electron microscopic image in different modes

Таблица 2

**Химический состав ксенотима, приведенный к 100 %**

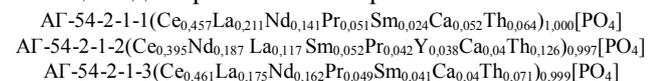
Table 2

**The chemical composition of xenotime, calculated to 100 %**

Номер образца и анализа	Элемент и его содержание, мас. %										
	O	P	Y	Gd	Dy	Er	Yb	Lu	Ce	U	Сумма
АГ-60-9-5	27,59	15,74	24,73	1,99	4,98	6,02	15,66	3,28	–	–	100
9-1-1	27,27	15,75	23,58	–	5,1	6,73	18,72	2,87	–	–	100
9-1-2	26,52	16,69	24,7	–	5,72	5,93	18,01	2,43	–	–	100
АГ-54-2-1-6	27,69	17,47	34,1	2,86	6,29	4,56	6,3	–	0,73	–	100
7	29,93	17,03	27,54	1,95	6,15	4,95	11,26	–	–	1,2	100
8	28,05	16,86	26,55	2,22	7,48	4,92	13,92	–	–	–	100
9	26,95	16,49	23,6	–	6,14	7,21	19,61	–	–	–	100
10	27,79	17,86	32,21	2,55	8,06	5,09	6,44	–	–	–	100

Монацит обнаружен лишь в одном аншлифе АГ-54, взаимоотношения которого с вольфрамитом, ксенотимом, кварцем и мусковитом приведены выше (рис. 4). Наряду с двумя относительно крупными фрагментами кристалла монацита в замещающем его мусковите присутствуют их мельчайшие обломки микронной размерности. Присутствуют они и в вольфрамите. Химический состав монацита приведен в табл. 3.

В результате расчета формульных коэффициентов на  $O_4$  получены кристаллохимические формулы монацита для трех точек измерения.



Во всех проанализированных точках определился монацит-(Ce) с преобладанием церия над лантаном

более чем в 2 раза. Для него характерна незначительная примесь кальция.

Содержание празеодима и самария невелико и примерно одинаково. Содержание тория существенно варьирует и проявляет прямую корреляцию с неодимом и самарием и обратную – с церием и лантаном (табл. 3).

Как было сказано выше и видно на рис. 4, ксенотимовые индивиды ксенотима окружены оторочками минерала, относящегося к фосфатам, содержащего алюминий, фосфор, железо, свинец, висмут, кальций и фтор. Требуется специальное дальнейшее изучение с целью поисков его крупных индивидов для количественного определения примеси ОН-групп и рентгенометрического анализа, без которого точная его диагностика и оценка возможной принадлежности какому-либо минеральному виду невозможна.

## Химический состав монацита, приведенный к 100 %

Table 3

## The chemical composition of monazite, calculated to 100 %

Номер образца и точки измерения	Элемент и его содержание, мас. %										Сумма
	O	P	Ca	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Th	
АГ-54-2-1-1	24,09	13,31	0,92		13,03	28,38	3,17	8,96	1,57	6,56	100
2-1-2	24,4	12,74	0,69	1,45	6,99	23,73	2,57	11,57	3,35	12,51	100
2-1-3	24,6	12,99	0,7		10,55	28,07	3,02	10,18	2,71	7,17	100

Вольфрамит имеет состав, отображенный общей формулой  $(Mn_{0,33}Fe_{0,67})[WO_4]$ , что указывает на принадлежность его к железистой разновидности. РЗЭ в нем не обнаружены несмотря на анализ многих зерен минерала под электронным микроскопом. Приведенные выше данные однозначно свидетельствуют о том, что РЗЭ, определенные В.Ф. Барабановым в монофракциях вольфрамитовых спектральных анализом [Барабанов, 1975], не входят в его состав, а связаны с микропримесями их собственных минералов – ксенотима и монацита.

## Выводы

1. Впервые определены содержания редкоземельных элементов в вольфрамоносных жилах месторождения Антонова Гора.
2. Редкоземельные элементы в месторождении вольфрама Антонова Гора в Забайкалье связаны с ксенотимом и монацитом, находящимися в тесной ассоциации с вольфрамитом, сульфидами, мусковитом и ближе неопределенным фосфатом свинца, висмута и алюминия.
3. Монацит характеризуется четким преобладанием церия над лантаном и высокими содержаниями

неодима, переменным содержанием тория, присутствием кальция.

4. Особенностью ксенотима является широкий изоморфизм тяжелых лантаноидов (Dy, Er, Yb, Lu), высокое содержание иттербия (до 19,61 %), лутеция (до 3,28 %), отсутствии тория и лишь в одном случае – присутствием урана.

5. Выявлено преобладание тяжелых лантаноидов над легкими в ассоциации с высоким содержанием вольфрамитовых сульфидов.

Подтвержден вывод о возрастании коэффициента концентрации тяжелых лантаноидов в зависимости от уменьшения их ионного радиуса и независимый от величины их кларка, что связано, как выявлено нами ранее для распределения лантаноидов в вольфрамите Шерловой Горы, с накоплением тяжелых РЗЭ в остаточных водо-силикатных расплавах, продуцирующих кварцево-вольфрамитовые жилы [Yurgenson et al., 2017; Юргенсон и др., 2018] и ассоциирующие с ним монацит и ксенотим.

Это является следствием лантаноидного сжатия, фундаментального кристаллохимического свойства лантаноидов.

## Список источников

- Барабанов В.Ф.** Минералогия вольфрамитовых месторождений Забайкалья. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. Т. 2. 360 с.
- Бескин С.М., Матиас В.В.** Индикаторные минералы петролого-металлогенетических вариантов гранитоидных серий (в салических геоблоках) // Современные проблемы сырьевой базы редких металлов России (1958–2006 гг.). М.: ВИМС, 2006. С. 149–154.
- Власов К.А.** Минералогия редких элементов. Т. 2. М.: Наука, 1964. 830 с.
- Вольфсон Ф.И., Дружинин А.В., Свирский М.А.** Геология некоторых рудных месторождений Забайкалья. Чита, 1968. 256 с.
- Гавриленко В.В., Гайдамако И.М., Смоленский В.В.** Редкоземельные элементы, скандий и ниобий в вольфрамитовых Баджалского рудного района (Дальний Восток) // Записки Всесоюзного минералогического общества. 1995. № 3. С. 48–56.
- Гребенников А.М.** Антоновгорское месторождение вольфрама // Энциклопедия Забайкалья / гл. ред. Р.Ф. Гениатулин. Новосибирск: Наука, 2003. Т. II. С. 57.
- Кузьмин М.И.** Закономерности распределения редких элементов в мезозойских гранитоидах центральной части Восточного Забайкалья: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Иркутск, 1966. 26 с.
- Мухамедшин А.К., Юргенсон Г.А.** Структурно-морфологические типы оруденения на вольфрамовых месторождениях Букука, Белуха и Антонова Гора (Восточное Забайкалье) // Комплексное использование вольфрамовых месторождений в СССР. Л., 1986. С. 36–37.
- Попова Ю.А., Бычков А.Ю., Матвеева С.С.** Геохимические особенности поведения лантаноидов при формировании месторождения Светлое (Чукотка) // Геохимия. 2016. № 8. С. 761–768.
- Попова Ю.А., Матвеева С.С., Бычков А.Ю., Тарнопольская М.Е., Бычкова Я.В.** Поведение лантаноидов при формировании минерализованных куполов на примере Спокойнинского месторождения (Забайкалье) // Геохимия. 2017. № 2. С. 178–185.
- Скурский М.Д., Морозов Ф.М., Бабкин А.С., Гайворонский Б.А., Гребенников А.М.** Вольфрамовые рудные формации и минеральные типы рудопроявлений вольфрама Забайкалья // Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений: тр. III Всесоюз. совещания по минералогии, геохимии, генезису и комплексному использованию вольфрамовых месторождений СССР. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. С. 203–208.
- Юргенсон Г.А., Прокофьев В.Ю., Кононов О.В.** Физико-химические условия формирования камнесамоцветной и редкометалльной минерализации месторождения Шерловая Гора (Юго-Восточное Забайкалье) // XVIII Всероссийская конференция по термобарогеохимии, посвященная 100-летию со дня рождения профессора Юрия Александровича Долгова, 1918–1993. М.,

24–28 сентября 2018 г. М.: Изд-во Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова, 2018. С. 156–158.

**Kasatkin A.V., Klopotov K.I., Plášil J.** Supergene minerals of Sherlova Gora // Mineralogical Almanac, Mineral-Almanac Limited Lakewood, USA. 2014. V. 19, Is. 2. P. 94–139.

**Yurgenson G.A., Kononov O.V.** Sherlova Gora: a deposit for gemstones and rare metals // Mineralogical Almanac, Mineral-Almanac Limited Lakewood, USA. 2014. V. 19, Is. 2. P. 12–93.

**Yurgenson G.A., Bychkov A.Yu., Kononov O.V., Popova J.A.** REE in wolframites from Sherlova Gora gems mine (Transbaikalia, Russia) // Goldschmidt Abstracts. 2017. P. 4443.

#### References

Barabanov V.F. *Mineralogiya vol'framitovykh mestorozhdeniy Zabaykal'ya. T.2.* [Mineralogy of wolframite deposits of Transbaikalia. V.2]. Leningrad: Publishing house Leningrad. University, 1975. 360 p. In Russian

Beskin S. M., Matias V.V. *Indikatornyye mineraly petrologo-metallogenicheskikh variantov granitoidnykh seriy (v salicheskikh geoblokakh)* [Indicator minerals of petrologic-metallogenic variants of granitoid series (in salic geoblocks)] // Modern problems of the raw materials base of rare metals of Russia (1958–2006). Moscow: VIMS, 2006. pp. 149–154. In Russian

Vol'fson F.I., Druzhinin A.V., Svirskiy M.A. *Geologiya nekotorykh rudnykh mestorozhdeniy Zabaykal'ya* [Geology of some ore deposits of Transbaikalia] Chita, 1968. 256 p. In Russian

Gavrilenko V.V., Gaydamako I.M., Smolenskiy V.V. *Redkozemel'nyye elementy, skandiy i niobiy v vol'framitakh Badzhal'skogo rudnogo rayona (Dal'niy Vostok)* [Rare earth elements, scandium and niobium in wolframites of the Badzhal ore district (Far East)] // Zap. All-Union Mineral. Society. 1995. No. 3. pp. 48–56. In Russian

Grebennikov A.M. *Antonovogorskoye mestorozhdeniye vol'frama* [Antonovogorsk tungsten deposit] // Encyclopedia of Transbaikalia. Ch. ed. R.F. Geniatulin. V. II. Novosibirsk: Nauka, 2003. pp. 57. In Russian

Kuz'min M.I. *Zakonomernosti raspredeleniya redkikh elementov v mezozoyskikh granitoidakh tsentral'noy chasti Vostochnogo Zabaykal'ya.* [Regularities of the distribution of rare elements in the Mesozoic granitoids of the central part of Eastern Transbaikalia]. Abstract. dis. cand. geol.-miner. sciences. Irkutsk, 1966. 26 p. In Russian

Mukhamedshin A.K., Yurgenson G.A. *Strukturno-morfologicheskiye tipy orudneniya na vol'framovykh mestorozhdeniyakh Bukuka, Belukha i Antonova Gora (Vostochnoye Zabaykal'ye)* [Structural and morphological types of mineralization in the tungsten deposits of Bukuk, Belukha and Antonova Gora (East Transbaikalia)] // Integrated use of tungsten deposits in the USSR. Leningrad, 1986. pp. 36–37. In Russian

Popova Yu.A., Bychkov A.Yu., Matveyeva S.S. Behavior of lanthanides during the formation of the Svetloye deposit (Chukotka) // Geochemistry International. 2016. V. 54 (8). pp. 732–738.

Popova Yu.A., Matveyeva S.S., Bychkov A.Yu., Tarnopol'skaya M.Ye., Bychkova Ya.V. Behavior of lanthanides during the origine of mineralized domes: an example of the Spokoininsky deposit (Transbaikalia) // Geochemistry International. 2017. V. 55 (2). pp. 211–217.

Skurskiy M.D., Morozov F.M., Babkin A.S., Gayvoronskiy B.A., Grebennikov A.M. *Vol'framovyye rudnyye formatsii i mineral'nyye tipy rudoproyavleniy vol'frama Zabaykal'ya* [Tungsten ore formations and mineral types of ore occurrences of tungsten in Transbaikalia] // 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 Leningrad. University, 1975. pp. 203–208. In Russian

Yurgenson G.A., Prokof'yev V.Yu., Kononov O.V. *Fiziko-khimicheskiye usloviya formirovaniya kamnesamotsvetnoy i redkometall'noy mineralizatsii mestorozhdeniya Sherlovaya Gora (Yugo-Vostochnoye Zabaykal'ye)* [Physical and chemical conditions for the formation of gemstone and rare-metal mineralization of the Sherlovaya Gora deposit (South-East Transbaikalia)] // XVIII All-Russian Conference on Thermobarogeochemistry, dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor Yuri Alexandrovich Dolgov, 1918–1993. M., September 24–28, 2018. Moscow: Publishing House of the First Moscow State Medical University. THEM. Sechenov, 2018. pp. 156–158. In Russian

Kasatkin A.V., Klopotov K.I., Plášil J. Supergene minerals of Sherlova Gora // Mineralogical Almanac, Mineral-Almanac Limited Lakewood, USA. 2014. V. 19, Is. 2. pp. 94–139.

Yurgenson G.A., Kononov O.V. Sherlova Gora: a deposit for gemstones and rare metals // Mineralogical Almanac, Mineral-Almanac Limited Lakewood, USA. 2014. V. 19, Is. 2. pp. 12–93.

Yurgenson G.A., Bychkov A.Yu., Kononov O.V., Popova J.A. REE in wolframites from Sherlova Gora gems mine (Transbaikalia, Russia) // Goldschmidt Abstracts/ 2017. pp. 4443.

#### Информация об авторе:

**Юргенсон Г.А.**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник, лаборатория геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, Россия.

E-mail: yurgga@mail.ru

*Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.*

#### Information about the author:

**Yurgenson G.A.**, Dr. Sci. (Geol.-Miner.), Professor, Chief Researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: yurgga@mail.ru

*The author declares no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 16.05.2020; одобрена после рецензирования 21.11.2021; принята к публикации 18.03.2022.*

*The article was submitted 16.05.2020; approved after reviewing 21.11.2021; accepted for publication 18.03.2022*