

УДК 553.08

РЕДКОЗЕМЕЛЬНО-УРАН-ТОРИЕВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В МОЛИБДЕНОВЫХ РУДАХ БУЛУКТАЕВСКОГО Mo-W МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАПАДНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ)

© 2022 г. Б. Б. Дамдинов^а, *, Л. Б. Дамдинова^а, С. З. Тугутова^а

^аГеологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, ул. Сахьяновой, ба, г. Улан-Удэ, 670047 Россия

*e-mail: damdinov@mail.ru

Поступила в редакцию 03.08.2021 г.

После доработки 15.10.2021 г.

Принята к публикации 15.10.2021 г.

Булуктаевское молибден-вольфрамовое месторождение считается близким аналогом W-Mo месторождений крупного Джидинского рудного поля, в составе которого известны Первомайское молибденовое, Инкурское и Холтосонское вольфрамовые месторождения. В молибденовых рудах Булуктаевского месторождения диагностировано 15 рудных минералов, включающих, кроме молибденита, сульфиды (пирит, галенит, халькопирит), вольфраматы (вольфрамит, шеелит), молибдаты (повеллит, вульфенит) и относительно большое число минералов, содержащих редкоземельные элементы (РЗЭ), U и Th (Th-содержащий монацит, браннерит, торит, уранинит), в том числе ранее неизвестные минералы – фторсодержащий молибдат тория и минералы, соответствующие составам редких видов – ортобраннериту и кобеиту-(Y). В статье рассмотрены взаимоотношения и особенности химического состава уран-торий-редкоземельных минералов. Установлено, что эти минералы были сформированы в ходе гидротермального процесса, на раннем (молибденитовом) этапе развития Булуктаевского молибден-вольфрамового месторождения.

Ключевые слова: Булуктаевское Mo-W месторождение, минералогия, уран-торий-РЗЭ минералы

DOI: 10.31857/S0016777022050045

ВВЕДЕНИЕ

Булуктаевское Mo-W месторождение расположено в юго-западной части Западного Забайкалья, практически на российско-монгольской границе. В административном отношении находится в Закаменском районе Республики Бурятия, в 75 км к востоку от районного центра – г. Закаменск (в 285 км на юго-запад от г. Улан-Удэ). Месторождение открыто в 1933 г., эксплуатировалось с 1938 по 1942 гг. В начале отработки старательской артелью была организована добыча вольфрамового концентрата, а с 1941 г. Джидинским комбинатом производилась добыча молибдена. Запасы месторождения в количестве 9.2 тыс. т WO₃ и 1.48 тыс. т молибдена сняты с учета ГКЗ в 1990 г. (Гордиенко и др., 2018). Однако, несмотря на длительную историю изучения этого месторождения, многие вопросы, касающиеся состава и генезиса молибден-вольфрамовой минерализации, остаются нерешенными. Один из них – присутствие РЗЭ-U-Th-минерализации, ранее упоминавшейся в рудах некоторых Mo-W грайзеновых месторождений (например, Рехарский, 1973; Kiseleva et al., 1994). Исследование подобной минерализации представляет особый ин-

терес в связи с возрастающей потребностью в рудах высокотехнологичных металлов (Бортников и др., 2016).

Булуктаевское молибден-вольфрамовое месторождение считается близким аналогом W-Mo месторождений крупного Джидинского рудного поля (Первомайское молибденовое месторождение, Инкурское и Холтосонское вольфрамовые месторождения). В частности, Булуктаевское месторождение так же, как и Джидинское, характеризуется многостадийным характером развития рудообразующего процесса, со сменой ранней молибденовой ассоциации относительно поздней – вольфрамовой, с жильно-штокверковой морфологией рудных тел, околожильной грайзеннизацией. В то же время, есть и отличительные особенности: 1) пространственная приуроченность руд к полимиктовой брекчии; 2) более древний возраст месторождения. Проведенные нами исследования молибденовых руд Булуктаевского месторождения показали также некоторые отличия в минеральном составе. В первую очередь это наличие в рудах Булуктаевского месторождения U-Th-РЗЭ-содержащих минералов, относительно редко встречающихся в жильно-штокверко-

вых грейзеновых W-Mo месторождениях (Рундквист и др., 1971). Присутствие нескольких разновидностей торий-уран-редкоземельных минералов в рудах Булуктаевского месторождения ставит вопрос об их происхождении и характере связи уран-ториевой минерализации с главными промышленными рудами. Кроме того, в рудах диагностированы редкие и названные U-Th-P3Э содержащие минералы, подробное описание которых позволит определить их видовую принадлежность.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

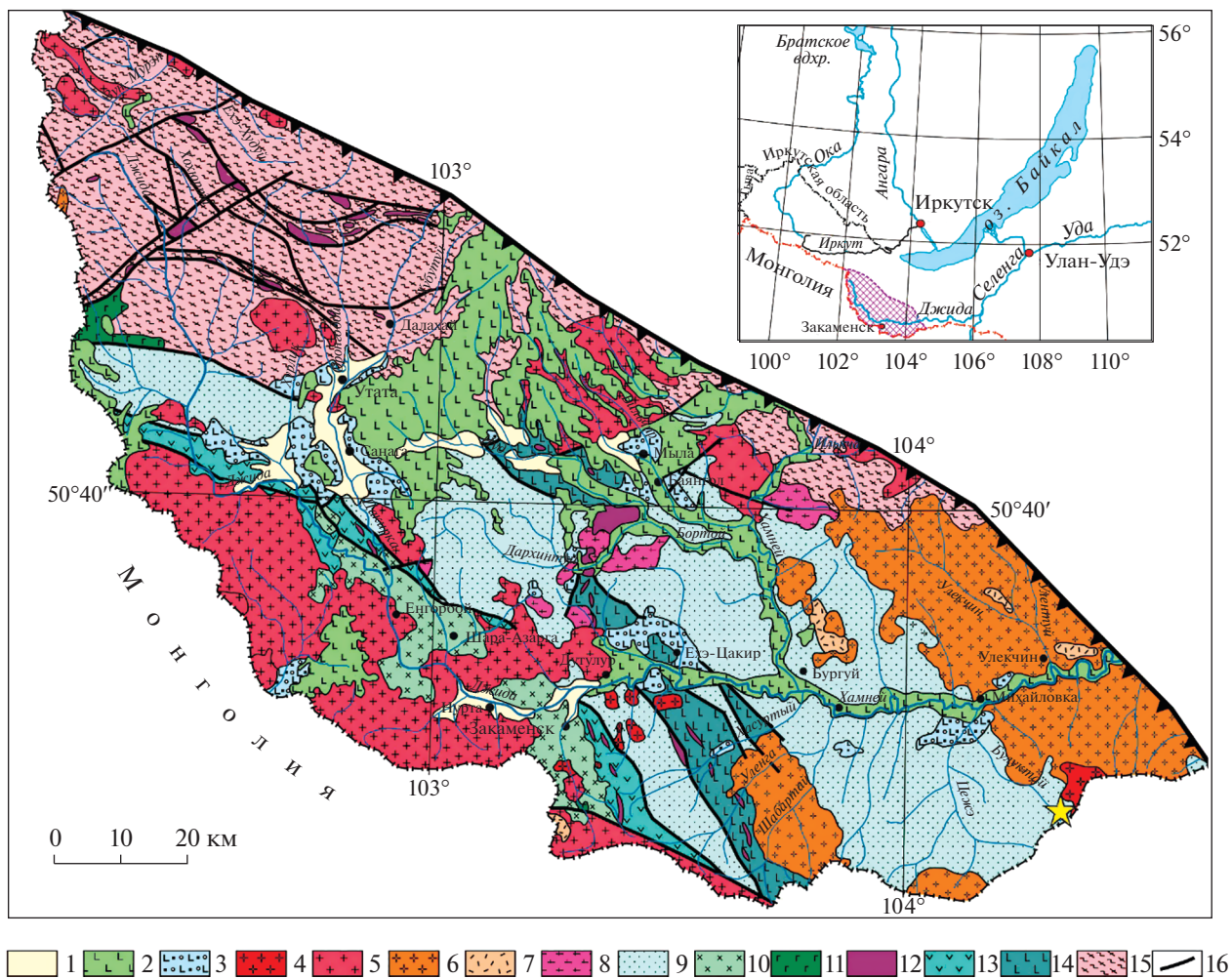
Булуктай-Харацайский рудный узел. Булуктаевское месторождение приурочено к Булуктай-Харацайскому рудному узлу Джидинского рудного района в юго-западной части Саяно-Байкальского складчатого пояса (Гордиенко и др., 2018). Рудный узел расположен в восточном окончании Джидинского рудного района, частично уходит на территорию Монголии. Площадь рудного узла сложена в основном интрузивными породами разного состава, лишь в западной его части установлены выходы существенно осадочных известково-песчано-сланцевых отложений джидинской свиты, а в восточной — ограниченные фрагменты вулканогенных базальт-андезитовых и трахитовых пород петропавловской свиты (фиг. 1). Большая часть интрузивных пород — это гранитоиды джидинского комплекса среднепермского возраста, а также небольшие тела и дайки гранитов и лейкогранитов гуджирского комплекса. В составе джидинского комплекса выделены три фазы; преобладает ранняя габбро-гранитная ассоциация, представленная полным набором пород от кислого до основного состава. Также широко распространены сиениты и монциты второй фазы, а в подчиненном количестве находятся граниты, лейкограниты, граносиениты третьей фазы. Рудная минерализация развита ограниченно: небольшие месторождения молибдена (Сохатинское), молибдена и вольфрама (Булуктаевское) и полиметаллов (Зун-Дабанское). Кроме того, в пределах Булуктай-Харацайского рудного узла широко распространены россыпные месторождения и проявления золота (Гаськов, 2019).

Булуктаевское месторождение. Рудное поле Булуктаевского месторождения сложено палеозойскими граносиенитами и аляскитовыми гранитами 2-й фазы гуджирского комплекса, также присутствуют дайки спессартитов, сиенитовых и диоритовых порфиритов, аплитов и гранит-порфиров (Бузкова, 1994) (фиг. 2). Особенностью месторождения является его приуроченность к полимиктовой брекчии, слагающей трубообразное тело размером 107 × 120 м (Батурина, Рипп, 1984).

Тело круто падает (70°–75°) на северо-запад. Вмещающие граносиениты интенсивно грейзенизированы на 80–110 м. Обломки брекчии сложены гранитоидами, дайковыми и осадочно-метаморфическими породами. Цемент представляет собой раздробленный, частично окварцованный и минерализованный агрегат вышеперечисленных пород. Кроме гидротермального кварца в цементе присутствуют флюорит, мусковит, кальцит и рудные минералы (шеелит, пирит, сфалерит, вольфрамит и др.). К трубообразному телу примыкает брекчиевая зона кольцевого строения со штокверковой минерализацией, представляющая собой сеть разнонаправленных кварцево-рудных прожилков, молибденитовых и гюбнеритовых жил, а также даек основного и кислого составов, имеющих северо-западное простирание (Гордиенко и др., 2018).

На Булуктаевском месторождении выделено три морфологических типа руд — штокверковые, жильные и вкрапленные. Штокверковые руды пространственно приурочены к трубообразному телу брекчированных пород и в плане повторяют форму “трубы”, имея согласное с ней падение на северо-запад. Штокверк сложен молибденит-вольфрамит-кварцевыми прожилками с вкрапленной молибденитовой минерализацией в околопрожилковых грейзенизированных гранитах. Общий размер штокверкового тела 350 × 210 м. Среднее содержание Mo по штокверку составляет 0.031%, WO₃ — 0.162%. Жильные руды на месторождении имеют подчиненное значение. Жилы залегают как в пределах штокверка, так и протягиваются в северо-западном направлении от него. Содержание Mo составляет от первых сотых до 0.1 мас. % (при среднем значении 0.025 мас. %), WO₃ — от первых сотых до 6 мас. % (среднее — 0.2 мас. %). Вкрапленные руды имеют небольшое распространение и встречаются в околожильных грейзенизированных гранитоидах вблизи кварц-молибденитовых жил и прожилков. Здесь отмечаются отдельные зоны богатых вкрапленных руд с содержанием Mo до 6.12 мас. %.

На месторождении установлено два этапа минералообразования: ранний молибденитовый и поздний вольфрамитовый, разделенные внедрением даек аплитов (Рипп, 1966; Kosals, Dmytrieva, 1973). Молибденитовый этап включает три стадии: раннюю эпимагматическую молибденитовую и гидротермальные молибденитовую и кварц-молибденитовую. Возраст руд оценивается в 144 ± 10 млн лет (Савченко и др., 2018). Вольфрамитовый этап включает кварц-микроколиновую, кварц-гюбнерит-шеелитовую и позднюю кварц-флюоритовую стадии (Рипп, 1966).

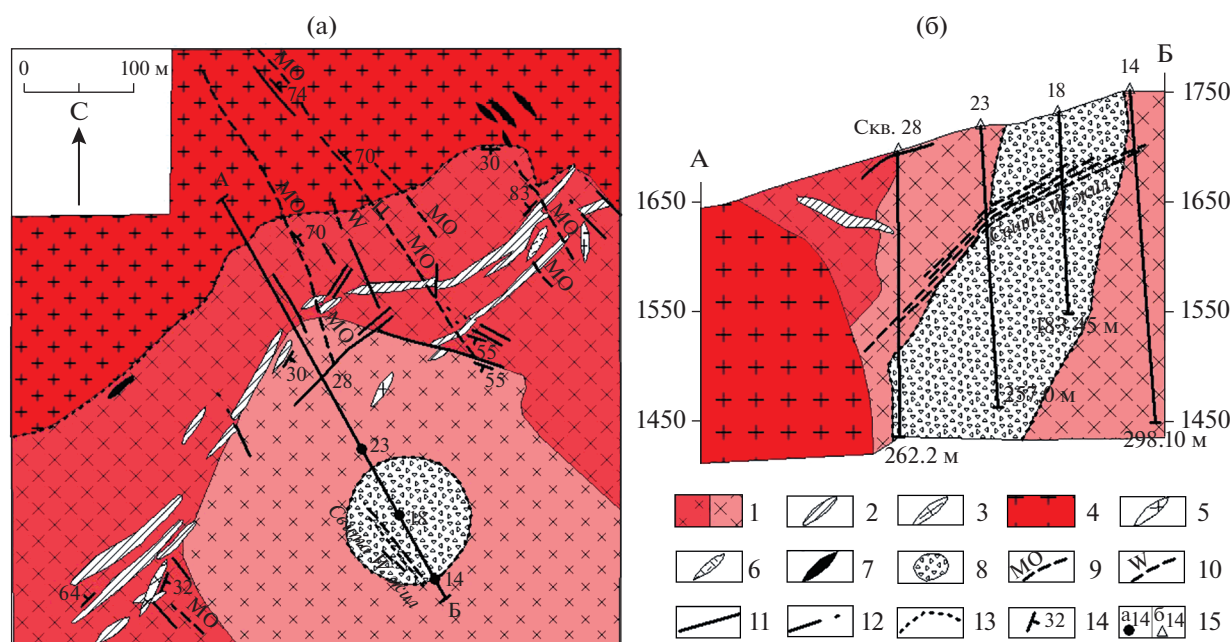


Фиг. 1. Схема геологического строения Джидинского рудного района (Гордиенко и др., 2018). 1 – четвертичные отложения; 2 – неоген-четвертичные базальты; 3 – юрско-меловые осадочные и осадочно-вулканогенные образования; внутриплитные (рифтогенные) комплексы (4–7); 4 – мезозойские гранитоиды (бичурский – P_2-T_1 , малокуналейский – T_2-3 , гуджирский – J_3-K_1 комплексы); 5 – раннепермские гранитоиды (дабанский – P_1 , шабартайский – P_1 комплексы); 6 – позднекарбоновые гранитоиды (битуджидинский – C_3 , улескинский – C_3 комплексы); 7 – пермо-карбоновые осадочно-вулканогенные образования (гунзанская свита); 8 – кембро-ордовикские ранне- и позднеколлизионные гранитоиды (позднеджидинский комплекс); 9 – кембро-ордовикские осадочные отложения задугового и преддугового палеобассейнов (джидинская свита); 10 – ниже-среднекембрийские островодужные гранитоиды (джидинский комплекс); 11 – неопротерозойские островодужные габброиды (зунгольский комплекс); 12 – неопротерозойские базит-гипербазиты офиолитового комплекса; 13 – неопротерозой-раннекембрийские вулканогенные породы Джидинской островной дуги (хохюртовская свита); 14 – неопротерозой-раннекембрийские осадочно-вулканогенные образования Джидотского гайота (хасуртинская свита); 15 – неопротерозойские осадочно-метаморфические породы Хамардабанского микроконтинента (хамардабанская серия нерасчлененная); 16 – разрывные нарушения. Зубчатой жирной линией показана северо-восточная граница Джидинского рудного района. Звездочкой показано положение Булуктаевского месторождения.

ОБРАЗЦЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследований, результаты которых представлены в настоящей статье, из имеющихся поверхностных горных выработок Булуктаевского молибден-вольфрамового месторождения была отобрана коллекция образцов руд. Были опробованы грейзенизированные граниты с вкрапленностью рудных минералов (преимущественно молибденита), кварцевые жилы и прожилки из рудного штокверка. Петрографиче-

ские и минераграфические исследования проводились с использованием рудно-петрографических микроскопов марок Olympus VX-51 и Полар-3. Аналитические исследования выполнены в ЦКП “Геоспектр” ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ). Химический состав минералов определялся Е.В. Ходыревой и С.В. Канакиным в ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) методом рентгеноспектрального микроанализа на сканирующем электронном микроскопе LEO-1430VP с энерго-дисперсионным спектро-



Фиг. 2. Схема геологического строения Булуктайского комплексного молибден-вольфрамового месторождения (Туговик, 1974). а – план, б – разрез по разведочному профилю А–Б., с изменениями: 1 – верхнепалеозойские кварцевые монцонит-сиениты (а) и их брекчированные разности (б). Дайки верхнего палеозоя: 2 – лампрофиры (одинит-спессариты); 3 – диорит-порфиры; 4 – раннемезозойские аляскитовые граниты и их дайки; 5 – аплиты; 6 – гранит-порфиры; 7 – рудно-эксплозивные брекчии; 8 – полимиктовая брекчия эксплозивного сооружения. Жилы: 9 – кварц-молибденитовые; 10 – кварц-гюбнеритовые; 11 – безрудные кварцевые; 12 – тектонические нарушения; 13 – геологические границы; 14 – элементы залегания; 15 – скважины на схеме (а), на разрезе (б).

метром INCA Energy 350. Содержания U и Th в рудах были определены методом РФА Б.Ж. Жалсараевым, Ж.Ш. Ринчиновой, С.В. Бартановой. Концентрации редкоземельных элементов определялись методом ICP-AES, аналитик И.В. Звонцов.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ МОЛИБДЕНОВЫХ РУД

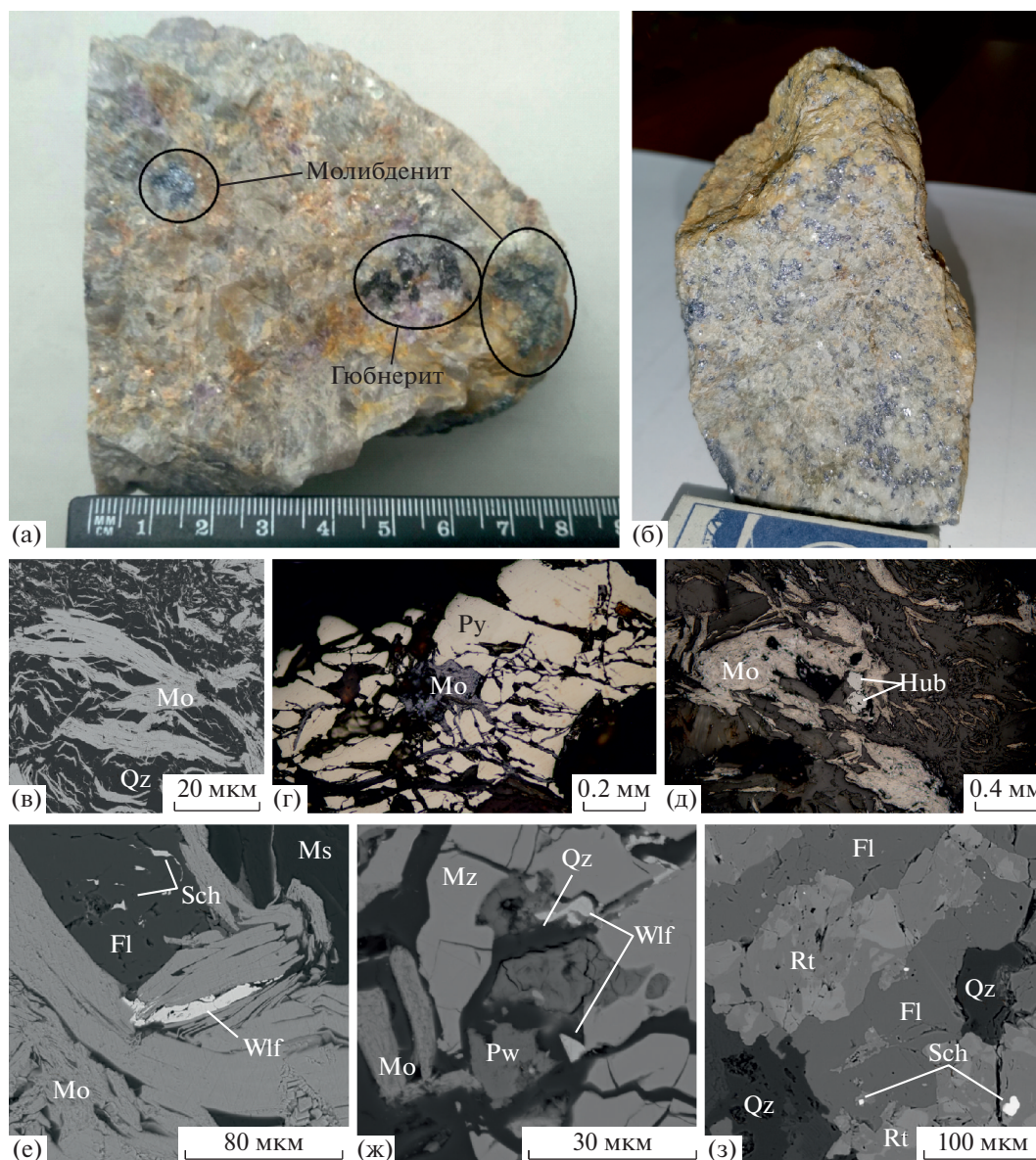
Жильные минералы кварц-молибденитовых руд представлены преимущественно кварцем, в меньшем количестве присутствуют флюорит, мусковит, берилл и карбонат (сидерит) (фиг. 3а). Кроме того, кварц, альбит, калиевый полевой шпат, биотит и мусковит слагают околожильные грейзенизированные граниты, содержащие вкрапленную молибденитовую минерализацию (фиг. 3б).

Кроме жильных минералов, в молибденовых рудах нами диагностировано 15 рудных минералов, включающих, кроме собственно молибденита, сульфиды (пирит, галенит, халькопирит), вольфраматы (вольфрамит, шеелит), молибдаты (повеллит, вольфенит) и уран-торий-редкоземельные минералы, включая не идентифицированные, возможно, новые минеральные виды. Также в рудах присутствуют акцессорные минералы – апатит, циркон, рутил.

Главный рудный минерал – **молибденит** образует радиально-лучистые, пластинчатые агрегаты, реже отдельные изогнутые пластинки и сростки (фиг. 3в). Он развивается как в кварцевых прожилках, так и во вмещающих грейзенизированных гранитоидах. Часто молибденит находится в ассоциации с мусковитом, иногда мусковит-молибденитовые агрегаты характеризуются структурой совместного роста, что говорит об их близодновременном образовании. Встречается также в совместных агрегатах с калиевым полевым шпатом между зёрнами кварца. В кварцевых прожилках молибденит развивается как в центральных частях прожилков, так и в зальбандах, иногда пространственно ассоциирует с пиритом.

Пирит присутствует в относительно небольшом количестве, встречается в виде гнезд, вкрапленности в гранитах и кварц-молибденитовых прожилках, образует трещиноватые агрегаты зёрен кубической формы. В трещинках в пирите встречаются выделения молибденита и рутила (фиг. 3г). Из примесей в составе пирита в единичных анализах присутствует Со – до 0.66 мас. %, хотя в большинстве случаев пирит примесей (на уровне чувствительности анализа) не содержит.

Халькопирит преимущественно развивается в виде редких прожилков по трещинам в пирите. В единичном случае слагает каплевидное выделе-



Фиг. 3. Фотографии образцов и морфология рудных минералов.

а – фотография образца молибденит-гюбнерит-кварцевой жилы с флюоритом; б – фотография образца вкрапленной молибденитовой руды в грейзенизированном граните; в – морфология выделений молибденита (фото в обратно-рассеянных электронах); г – молибденит развивается по трещинам в пирите (фото в отраженном свете); д – кристаллы вольфрамит в кварц-молибденитовом агрегате; е – ксеноморфное выделение вульфенита в молибденитовом агрегате, микровключения шеелита во флюорите; ж – кристалл повеллита в ассоциации с вульфенитом в зерне монацита-(Ce), по трещинкам в монаците-(Ce) развит кварц; з – неоднородные зерна рутила в сростании с флюоритом, содержат микровключения шеелита. Сокращения минералов: Мо – молибденит, Qz – кварц, Py – пирит, Hub – вольфрамит (гюбнерит), Wlf – вульфенит, Fl – флюорит, Ms – мусковит, Mz – монацит-(Ce), Pw – повеллит, Rt – рутил.

ние в кварце, в ассоциации с галенитом и вольфрамитом.

Галенит установлен только в виде микросрастания с халькопиритом и вольфрамитом.

Вольфрамит-гюбнерит $((Fe, Mn)WO_4)$ находится в ассоциации с молибденитом (фиг. 3д). Образует гипидиоморфные зерна округлой формы в

кварце, иногда в сростании с халькопиритом и галенитом. В рудах присутствуют как минералы вольфрамит-гюбнеритовой серии с близкими содержаниями FeO и MnO (11.02 и 12.80 мас. % соответственно), так и минерал, соответствующий гюбнериту, с содержанием FeO менее 4.59 мас. % (табл. 1).

Таблица 1. Химические составы молибдатов и вольфраматов

№ п/п	Образец	FeO	MnO	MgO	CaO	ThO ₂	MoO ₃	WO ₃	PbO	P ₂ O ₅	Сумма
1	Bul_14	4.59	19.88					75.43			99.89
2	Bul_14	4.02	18.95					76.43			99.40
3	Bul_12	11.02	12.80					76.51			100.34
4	Bul_18						35.83		64.65		100.48
5	Bul_18						36.19		63.55		99.74
6	Bul_23						37.81		60.89		99.89
7	Bul_18						35.67		64.20		99.87
8	Bul_23						36.49		63.03		99.54
9	Bul_18						36.39		62.93		99.31
10	Bul_18						34.52		65.79		100.30
11	Bul_23						36.98		63.16		100.14
12	Bul_23						34.93		65.09		100.02
13	Bul_6						33.80		66.05		99.84
14	Bul_6						35.33		64.35		99.68
15	Bul_23				29.20			70.92			100.12
16	Bul_23	0.40			30.02			68.68			99.08
17	Bul_23	1.58			20.78	6.48	64.76		4.10	1.46	99.15
18	Bul_18				20.99			79.24			100.23
19	Bul_18				20.27			79.56			99.83

Примечание. 1–3 – вольфрамит; 4–14 – вольфенит; 15–17 – повеллит; 18–19 – шеелит. Пустые ячейки – ниже предела обнаружения.

Вольфенит (PbMoO₄) практически всегда ассоциирует с молибденитом, образуя выделения ксеноморфной формы, в пластинчатых агрегатах молибденита, редко встречается вблизи зерен молибденита, в кварц-хлоритовом агрегате (фиг. 3е). Минерал соответствует своему теоретическому составу, примесей не обнаружено (см. табл. 1).

Повеллит (CaMoO₄) встречается в виде единичных зерен в ассоциации с молибденитом, вольфенитом и монацитом-(Ce) (фиг. 3ж). Вблизи зерна повеллита также присутствуют кварц и молибденит.

Шеелит (CaWO₄) встречается редко, преимущественно в минерализованных грейзенизированных гранитах, в виде микровключений в рутиле и флюорите (фиг. 3е, з).

В рудах обнаружены и акцессорные минералы – апатит, циркон, монацит-(Ce), рутил, часто ассоциирующие с U-Th минералами. Однако монацит-(Ce) и рутил встречаются как в грейзенизированных гранитах, так и непосредственно в кварц-молибденитовых прожилках. Состав монацита-(Ce), как Th-P3Э-содержащей фазы, рассмотрен в следующем разделе.

Рутил образует кристаллы, кристаллические агрегаты угловатой формы, часто неоднороден за счет неравномерного распределения примесей

(фиг. 3з). Характерной особенностью рутила является почти постоянное присутствие примесей Nb и V, содержания которых достигают 5.36 и 1.76 мас. % соответственно (табл. 2).

Циркон слагает гипидиоморфные зерна округлой, прямоугольной формы, реже хорошо образованные кристаллы призматической формы. В некоторых зернах обнаружены примеси Hf (1.36–2.41 мас. %) (см. табл. 2).

Апатит слагает единичные кристаллы прямоугольного сечения, размером до 30 мкм. Рентгеноспектральный микроанализ апатита показал наличие F – до 5.33 мас. %.

МИНЕРАЛЫ P3Э, УРАНА И ТОРИЯ

Характерной особенностью руд месторождения является широкое развитие и относительно большое количество U-Th-P3Э-минералов. Среди них диагностированы такие минералы, как торий-содержащий монацит-(Ce), браннерит, торит, уранинит, а также ранее неизвестные и редкие минералы – фторсодержащий молибдат тория, ортобраннерит и кобеит-(Y).

Из U-Th-P3Э-минералов, наиболее распространен **монацит-(Ce)**. Он приурочен преимущественно к грейзенизированным гранитам, хотя встречается и в кварц-молибденитовых прожил-

Таблица 2. Химические составы аксессуарных минералов Булуктаевского месторождения

№ п/п	Образец	SiO ₂	TiO ₂	FeO	V ₂ O ₃	ZrO ₂	HfO ₂	Nb ₂ O ₅	Сумма
1	Bul_14		98.78	1.00					99.76
2	Bul_14		99.24	0.53					99.76
3	Bul_23	0.79	91.13	1.35	1.61			5.36	100.23
4	Bul_14		99.17	0.61	0.00				99.78
5	Bul_18		95.12	1.66	0.66			2.15	99.59
6	Bul_14		96.09	2.65	0.80				99.54
7	Bul_23		93.83	1.12	0.99			3.23	99.18
8	Bul_12		94.21	1.89	0.99			1.71	98.81
9	Bul_21		98.36	0.49	0.70			1.19	100.73
10	Bul_14		96.52	3.28				0.84	100.65
11	Bul_23		94.78	0.92	1.34			3.58	100.63
12	Bul_21		97.65	0.74	0.70			1.03	100.11
13	Bul_14		94.83	3.58	0.00			1.70	100.10
14	Bul_23		93.76	1.13	1.43			3.29	99.60
15	Bul_21		94.54	0.52	1.76			2.72	99.54
16	Bul_12		96.47	1.29				1.40	99.15
17	Bul_12		93.84	2.55				4.15	100.54
18	Bul_14		94.01	3.82				1.56	99.39
19	Bul_18	32.86				67.77	1.36		101.99
20	Bul_21	32.35				67.66	1.42		101.42
21	Bul_6	32.86				65.68	2.41		100.94
22	Bul_18	32.65				67.19			99.84
23	Bul_21	31.98				65.85	1.9		99.73
24	Bul_21	30.96				68.32			99.28

Примечание. 1–18 – рутил; 19–24 – циркон. Пустая ячейка – ниже предела обнаружения

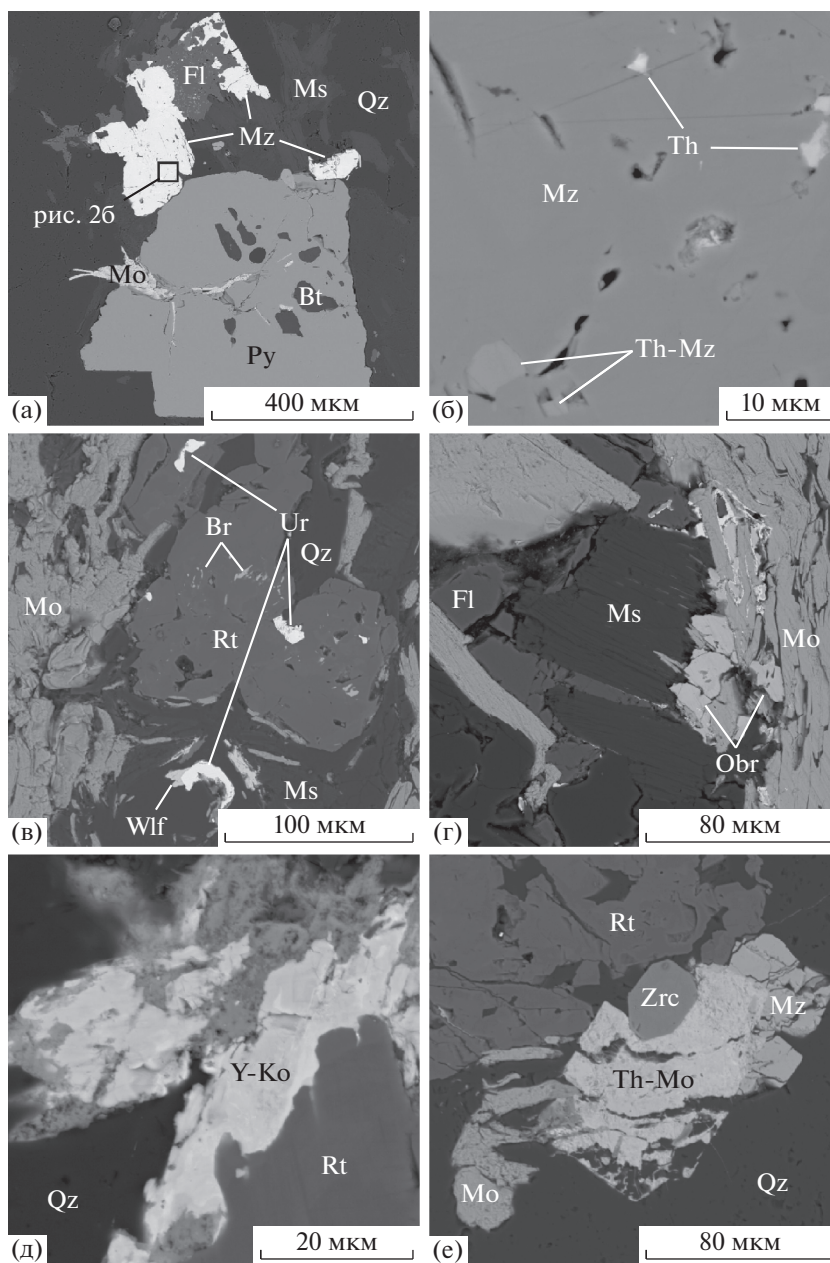
ках. Минерал слагает изометричные зерна неправильной или гипидиоморфной формы. Он часто пространственно ассоциирует с рутилом, апатитом и цирконом, иногда замещается флюоритом (фиг. 4а) или молибденитом. По химическому составу монацит-(Ce) характеризуется преобладанием Ce и значительными вариациями в содержаниях РЗЭ. Содержание Ce₂O₃ в минерале изменяется от 27.49 до 36.56 мас. %, La₂O₃ – от 12.89 до 23.98 мас. % (табл. 3). Также в составе минерала присутствуют Nd₂O₃ 7.19–14.86 мас. %, Pr₂O₃ 1.50–3.71 мас. % и в некоторых зернах Sm₂O₃ – 1.32–2.01 мас. %. Содержания остальных РЗЭ ниже предела обнаружения. Концентрации ThO₂ сильно изменчивы – от 1.43 до 14.86 мас. %, причем высокоториевый монацит-(Ce) образует включения в относительно низкоториевом (фиг. 4б). В некоторых проанализированных зернах отмечается примесь серы, содержания SO₃ в них варьируют в пределах 0.68–1.2 мас. %.

Торит присутствует в виде тонких вкрапленников во флюорите и монаците-(Ce) (см. фиг. 4а, б).

Минерал содержит редкоземельные элементы – Ce₂O₃ (5.10–11.51 мас. %), La₂O₃ (2.38–6.46 мас. %) и Nd₂O₃ (2.04–4.06 мас. %), а также P₂O₅ (5.67–9.23 мас. %) и CaO (0.52–1.38 мас. %) (см. табл. 3). Содержания UO₂ – ниже предела обнаружения.

Браннерит диагностирован как в кварцевых прожилках, так и в околосильных грейзенизированных гранитах. Минерал образует микровключения неправильной ксеноморфной формы в рутиле (фиг. 4в). Химический состав минерала, по данным рентгеноспектрального микроанализа двух зерен, характеризуется наличием Nb₂O₅ (8.93–10.13 мас. %), Y₂O₃ (4.05–4.53 мас. %) и ThO₂ (3.04–3.28 мас. %) (табл. 4). В одном случае установлена примесь железа (FeO = 1.04 мас. %).

В ассоциации с мусковитом и молибденитом диагностирован также минерал, близкий по составу к браннериту (фиг. 4г), но отличающийся недостатком суммы и наличием примесей F (1.92–2.57 мас. %), относительно повышенным содержанием UO₂ (48.32–53.98 мас. %) и пониженным – TiO₂ (31.93–32.21 мас. %) (см. табл. 4).



Фиг. 4. Морфология выделения U-Th-P3Э-содержащих минералов.

а – монацит-(Ce) замещается флюоритом, содержащим тонкую вкрапленность торита. Квадратом показано положение фиг. 2б; б – микровключения торита в монаците-(Ce), участки монацита-(Ce), обогащенные торием; в – зерно рутила, расположенное вблизи молибденитового агрегата, содержит микровключения браннерита и зерна уранинита, уранинит образует также срастание с вольфенитом; г – зерна ортобраннерита в ассоциации с мусковитом, флюоритом и молибденитом; д – неоднородный агрегат кобеита-(Y), обрастает зерно рутила, серый агрегат – вторичные минералы Ti и Nb, содержащие примеси U и Th; е – метакристалл(?) молибдата тория (Th-Mo) развит на границе зерен рутила, молибденита и монацита. Фотографии в обратно-рассеянных электронах.

Сокращения минералов: Mo – молибденит, Qz – кварц, Py – пирит, Ms – мусковит, Fl – флюорит, Bt – биотит, Mz – монацит-(Ce), Th – торит, Th-Mz – обогащенный торием монацит-(Ce), Rt – рутил, Wlf – вольфенит, Br – браннерит, Ur – уранинит, Obr – ортобраннерит, Y-Ko – кобеит-(Y), Th-Mo – молибдат тория, Zrc – циркон.

Отклонение суммы от 100% можно объяснить присутствием в минерале элементов, которые не могут быть определены с помощью РСМА. Предположительно это O и H, которые могут входить в минерал в виде гидроксильной группы OH. По

химическому составу данный минерал соответствует гидроксил-содержащему титанату урана – **ортобраннериту**, однако отсутствие рентгеновских данных не позволяет достоверно диагностировать этот минерал. Расчет содержаний H₂O в

Таблица 3. Химические составы и эмпирические формулы монацита-(Ce) и торита из руд Булуктаевского месторождения

№ п/п	Образец	SiO ₂	CaO	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	ThO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Сумма
1.	Bul_12		0.74	30.52	21.29	1.50	7.48		11.18	26.15	1.20	100.06
2.	Bul_12			30.80	21.61	3.31	7.19		11.90	24.50	0.98	100.28
3.	Bul_23		0.46	36.56	21.73	2.26	8.12		1.62	30.06		100.81
4.	Bul_18	0.79	0.39	35.00	23.98	1.60	7.33		2.08	28.60		99.77
5.	Bul_12		0.55	35.19	21.70	1.97	8.78		1.52	29.51		99.21
6.	Bul_23			33.91	20.54	2.62	8.77	1.32	2.24	29.56		98.96
7.	Bul_14		1.10	32.58	12.89	3.71	14.09	2.01	2.39	30.78	0.68	100.25
8.	Bul_14		1.53	32.66	12.97	3.60	14.86	1.96	1.36	31.15		100.11
9.	Bul_14		0.64	34.94	22.38	2.58	8.68		1.54	28.70		99.47
10.	Bul_21		2.00	27.49	14.87	1.60	8.95		14.86	29.41		99.16
11.	Bul_12		0.52	35.64	18.29	2.38	11.62		1.43	30.16		100.03
12.	Bul_12		0.62	36.30	21.03		8.64		2.37	29.81	1.10	99.87
13.	Bul_12	15.51	1.38	5.10	2.38		2.21		67.90	5.67		100.15
14.	Bul_12	13.73	0.95	11.51	6.46		4.06		54.24	9.23		100.20
15.	Bul_12	14.49	0.52	8.80	4.31		2.04		62.08	7.21		99.46

- $(\text{Ce}_{0.481}\text{La}_{0.338}\text{Nd}_{0.115}\text{Th}_{0.110}\text{Pr}_{0.023}\text{Ca}_{0.034}) \Sigma = 1.102(\text{P}_{0.954}\text{S}_{0.039}) \Sigma = 0.993\text{O}_{3.905}$
- $(\text{Ce}_{0.497}\text{La}_{0.351}\text{Th}_{0.119}\text{Nd}_{0.113}\text{Pr}_{0.053}) \Sigma = 1.134(\text{P}_{0.914}\text{S}_{0.032}) \Sigma = 0.946\text{O}_{3.920}$
- $(\text{Ce}_{0.581}\text{La}_{0.348}\text{Nd}_{0.126}\text{Pr}_{0.036}\text{Ca}_{0.022}\text{Th}_{0.016}) \Sigma = 1.129\text{P}_{1.104}\text{O}_{3.769}$
- $(\text{Ce}_{0.542}\text{La}_{0.374}\text{Nd}_{0.110}\text{Si}_{0.034}\text{Pr}_{0.025}\text{Th}_{0.020}\text{Ca}_{0.018}) \Sigma = 1.122\text{P}_{1.024}\text{O}_{3.854}$
- $(\text{Ce}_{0.548}\text{La}_{0.340}\text{Nd}_{0.133}\text{Pr}_{0.031}\text{Ca}_{0.025}\text{Th}_{0.015}) \Sigma = 1.091\text{P}_{1.063}\text{O}_{3.846}$
- $(\text{Ce}_{0.566}\text{La}_{0.345}\text{Nd}_{0.143}\text{Pr}_{0.044}\text{Th}_{0.023}\text{Sm}_{0.021}) \Sigma = 1.142\text{P}_{1.141}\text{O}_{3.718}$
- $(\text{Ce}_{0.525}\text{Nd}_{0.221}\text{La}_{0.209}\text{Pr}_{0.059}\text{Ca}_{0.052}\text{Sm}_{0.031}\text{Th}_{0.024}) 1.121(\text{P}_{1.147}\text{S}_{0.023}) \Sigma = 1.170\text{O}_{3.709}$
- $(\text{Ce}_{0.503}\text{Nd}_{0.223}\text{La}_{0.202}\text{Ca}_{0.069}\text{Pr}_{0.055}\text{Sm}_{0.028}\text{Th}_{0.013}) \Sigma = 1.094\text{P}_{1.110}\text{O}_{3.796}$
- $(\text{Ce}_{0.611}\text{La}_{0.395}\text{Nd}_{0.148}\text{Pr}_{0.045}\text{Ca}_{0.033}\text{Th}_{0.017}) \Sigma = 1.249\text{P}_{1.162}\text{O}_{3.589}$
- $(\text{Ce}_{0.429}\text{La}_{0.234}\text{Th}_{0.144}\text{Nd}_{0.136}\text{Ca}_{0.091}\text{Pr}_{0.025}) \Sigma = 1.059\text{P}_{1.061}\text{O}_{3.880}$
- $(\text{Ce}_{0.559}\text{La}_{0.289}\text{Nd}_{0.178}\text{Pr}_{0.037}\text{Ca}_{0.024}\text{Th}_{0.014}) \Sigma = 1.100\text{P}_{1.093}\text{O}_{3.807}$
- $(\text{Ce}_{0.555}\text{La}_{0.324}\text{Nd}_{0.129}\text{Ca}_{0.028}\text{Th}_{0.022}) \Sigma = 1.058(\text{P}_{1.054}\text{S}_{0.035}) \Sigma = 1.089\text{O}_{3.854}$
- $(\text{Th}_{0.641}\text{Ce}_{0.077}\text{Ca}_{0.061}\text{La}_{0.037}\text{Nd}_{0.033}) \Sigma = 0.849(\text{Si}_{0.643}\text{P}_{0.199}) \Sigma = 0.842\text{O}_{4.309}$
- $(\text{Th}_{0.565}\text{Ce}_{0.193}\text{La}_{0.109}\text{Nd}_{0.067}\text{Ca}_{0.047}) \Sigma = 0.981(\text{Si}_{0.628}\text{P}_{0.358}) \Sigma = 0.986\text{O}_{4.035}$
- $(\text{Th}_{0.603}\text{Ce}_{0.137}\text{La}_{0.068}\text{Nd}_{0.031}\text{Ca}_{0.023}) \Sigma = 0.862(\text{Si}_{0.619}\text{P}_{0.26}) \Sigma = 0.879\text{O}_{4.258}$

Примечание. 1–12 – монацит-(Ce); 13–15 – торит. Пустая ячейка – ниже предела обнаружения.

минерале по недостатку суммы показывает значения порядка 8.6–9.89 мас. %. Эмпирическая формула минерала, рассчитанная по данным рентгеноспектрального микроанализа, соответствует теоретической – $(\text{U}^{4+}\text{U}^{6+}\text{Ti}_4\text{O}_{12}(\text{OH})_2)$, отличается только наличием фтора, что предполагает изоморфизм в ряду $\text{OH}-\text{F}$, характерный для ряда урановых минералов (бетафит, уранопироклор и др.).

Наряду с браннеритом и ортобраннеритом в составе молибденовых руд присутствует еще один Nb-Ti-U-минерал, с содержанием Nb₂O₃ 7.78–19.46 мас. %, Y₂O₃ – 6.34–8.10 мас. % и ThO₂ – 3.22–4.80 мас. %, а также с дефицитом суммы, что позволяет предполагать наличие гидроксильной группы в его составе (см. табл. 4). Расчет содержания H₂O по дефициту суммы показывает значения 8.0–13.81 мас. %. Минерал характеризуется наличием относительно большого количества примесных компонентов: SiO₂ (1.5–1.84 мас. %), FeO (1.26–2.02 мас. %), CaO (0.43–1.26 мас. %),

SrO (1.09–1.49 мас. %), Al₂O₃ (0.53–0.85 мас. %), в некоторых зернах – Nd₂O₃ (1.14–1.27 мас. %). Смешанный агрегат, состоящий из тонких сростаний агрегата ниобий-титан-уран-содержащего минерала, обрастает зерно рутила (фиг. 4д). По химическому составу минерал, слагающий этот агрегат, соответствует **кобенту-(Y)** – $(\text{Y,U})(\text{Ti,Nb})_2(\text{O,OH})_6$, но характеризуется значительными вариациями содержаний главных и примесных элементов. Тем не менее, несмотря на некоторые неоднородности химического состава, расчет эмпирических формул минерала, показывает их сходство с теоретической формулой кобента-(Y), однако отсутствие рентгеновских данных не позволяет уверенно идентифицировать этот минерал.

Уранинит образует включения в рутиле и кварце, а также сростания с молибденитом и повеллитом, пространственно тяготеющие к выделениям рутила (см. фиг. 4в). Минерал характеризуется

Таблица 4. Химические составы и эмпирические формулы U-Th минералов из руд Булуктаевского месторождения

№ п/п	Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	SrO	Nd ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	ThO ₂	UO ₂	MoO ₃	PbO	Nb ₂ O ₅	P ₂ O ₅	F	Сумма
1	Bul_23	41.26							4.53	3.28	41.75			8.93			99.76
2	Bul_23	39.67			1.04				4.05	3.04	42.24			10.13			100.16
3	Bul_6	32.21			0.82	2.04				4.96	48.32				0.48	2.57	91.4
4	Bul_6	31.93			0	0.66				1.63	53.98					1.92	90.11
5	Bul_12	1.50	25.40	0.83	1.74	1.26	1.42	1.14	7.67	3.47	25.39			17.17			86.99
6	Bul_12	1.69	25.09		2.02	1.16	1.09	1.21	8.10	3.62	25.50			17.24			86.72
7	Bul_12	1.20	26.59	0.85	1.75	0.66		1.27	7.26	3.48	26.86			19.46			89.38
8	Bul_12	1.73	32.24	0.53	1.69	0.43	1.61		7.31	4.32	31.12			11.02			92.00
9	Bul_12	1.84	31.53	0.70	1.88	0.66	1.49		6.74	3.22	31.22			10.94			90.22
10	Bul_12	1.73	29.42	0.60	1.39	0.56	1.36		6.34	3.48	31.61			9.70			86.19
11	Bul_12	1.56	35.45	0.64	1.26		1.40		6.62	4.80	32.37		1.16	7.78			91.87
12	Bul_23									9.11	89.88		1.33				100.15
13	Bul_23				0.99	0.74			3.15	8.00	89.86						99.18
14	Bul_12									5.49	89.78						99.41
15	Bul_23					0.64				55.43		37.83		1.30		4.75	100.05
16	Bul_23					0.39				52.96		41.57		2.08		2.20	99.46
17	Bul_23					0.00				49.61		48.53				1.18	99.70
18	Bul_23									49.66		48.74				1.01	99.41

1. (U_{0.63}Th_{0.046}Y_{0.145}) Σ = 0.821[(Ti_{1.998}Nb_{0.306}Fe_{0.058}) Σ = 2.362O_{5.907}2. (U_{0.606}Th_{0.049}Y_{0.157}) Σ = 0.812[(Ti_{2.026}Nb_{0.264}) Σ = 2.29O_{5.988}3. (U_{1.98}Th_{0.06}Ca_{0.116}) Σ = 2.156Ti_{3.958}O_{13.109} (OH_{1.000}F_{1.000}) Σ = 24. (U_{1.762}Th_{0.184}Ca_{0.358}) Σ = 2.304(Ti_{3.971}Fe_{0.113}) Σ = 4.084O_{12.436}(OH_{0.669}F_{1.331}) Σ = 25. (U_{0.352}Y_{0.254}Si_{0.094}Ca_{0.084}Al_{0.061}Th_{0.053}Sr_{0.051}Nd_{0.025}) Σ = 0.970[Ti_{1.189}Nb_{0.483}Fe_{0.09}] Σ = 1.762(O, OH)_{6.268}6. (U_{0.342}Y_{0.259}Si_{0.102}Ca_{0.075}Th_{0.050}Sr_{0.038}Nd_{0.026}) Σ = 0.891[Ti_{1.136}Nb_{0.469}Fe_{0.102}] Σ = 1.706(O, OH)_{6.402}7. (U_{0.389}Y_{0.252}Si_{0.078}Al_{0.065}Th_{0.051}Ca_{0.046}Nd_{0.030}) Σ = 0.911[Ti_{1.301}Nb_{0.572}Fe_{0.095}] Σ = 1.969(O, OH)_{6.120}8. (U_{0.440}Y_{0.248}Si_{0.110}Th_{0.063}Sr_{0.059}Al_{0.040}Ca_{0.030}) Σ = 0.989[Ti_{1.543}Nb_{0.317}Fe_{0.090}] Σ = 1.949(O, OH)_{6.062}9. (U_{0.423}Y_{0.219}Si_{0.113}Sr_{0.053}Al_{0.050}Th_{0.045}Ca_{0.043}) Σ = 0.946[Ti_{1.445}Nb_{0.302}Fe_{0.095}] Σ = 1.842(O, OH)_{6.213}10. (U_{0.470}Y_{0.222}Si_{0.116}Th_{0.053}Sr_{0.053}Al_{0.048}Ca_{0.04}) Σ = 1.004[Ti_{1.478}Nb_{0.293}Fe_{0.077}] Σ = 1.848(O, OH)_{6.149}11. (U_{0.455}Y_{0.225}Si_{0.099}Th_{0.069}Sr_{0.051}Al_{0.048}) Σ = 0.945[(Ti_{1.687}Nb_{0.222}Fe_{0.067})] Σ = 1.976(O, OH)_{6.080}12. (U_{0.834}Th_{0.076}Pb_{0.015}) Σ = 0.925O_{2.075}13. (U_{0.821}Th_{0.085}Pb_{0.013}) Σ = 0.919O_{2.081}14. (U_{0.561}Y_{0.047}Th_{0.035}Fe_{0.023}) Σ = 0.666O_{2.334}15. (Th_{1.141}Ca_{0.071}Pb_{0.10}) Σ = 1.322Mo_{1.429}O_{6.90}F_{1.482}16. (Th_{1.023}Ca_{0.058}Pb_{0.15}) Σ = 1.231Mo_{1.474}O_{7.704}F_{0.592}17. (Th_{1.03}Ca_{0.058}) Σ = 1.088Mo_{1.848}O_{7.745}F_{0.34}18. Th_{1.032}Mo_{1.858}O_{7.819}F_{0.291}

Примечание. 1–2 – браннерит; 3–4 – ортобраннерит(?), расчетные содержания H₂O – 8.6–9.89 мас. %. 5–11 – кобейт-(Y)(?), расчетные содержания H₂O – 8.0–13.81 мас. %; 12–14 – уранинит; 15–18 – фторсодержащий молибдат тория. Пустая ячейка – ниже предела обнаружения.

Таблица 5. Содержания U, Th и суммы РЗЭ (г/т) в рудах Булуктаевского месторождения

№ п/п	№ пробы	Порода	Th	U	ΣРЗЭ
1.	Бул 18	Гранит с вкрапленностью молибденита		14	317.6
2.	Бул 16	Гранит с вкрапленностью молибденита		10	–
3.	Бул 15	Гранит с вкрапленностью молибденита		31	89.5
4.	Бул 10	Гранит с кварц-берилловым прожилком	29	20	25.0
5.	Бул 19	Гранит с кварц-молибденитовым прожилком	4.5	11	–
6.	Бул 21	Гранит с кварц-молибденитовым прожилком	32	21	–
7.	Бул 22	Кварц с сульфидами	2	14	–
8.	Бул 11	Кварц с сульфидами	20	7.8	175.3
9.	Бул 12-1	Кварц с сульфидами	18	7.4	–
10.	Бул 12-2	Кварц с сульфидами	20	11	–
11.	Бул 6	Кварц с сульфидами		27	152.8
12.	Бул 7	Кварц с сульфидами		9.1	6.1
13.	Бул 2	Кварц с флюоритом и бериллом	13	13	77.1
14.	Бул 9	Кварц-молибденитовый прожилок	6.7		145.1
15.	Бул 9а	Кварц-молибденитовый прожилок	5.0	2.1	–
16.	Бул 13	Сплошной молибденитовый прожилок		28	–

Примечание. Пустая ячейка – ниже предела обнаружения, прочерк – элемент не анализировался. Анализы U и Th выполнены методом РФА, аналитик Б.Ж. Жалсараев, суммы РЗЭ – методом ICP-AES, аналитик И.В. Звонцов.

присутствием примесей ThO_2 (5.49–9.11 мас. %) и PbO (1.16–1.33 мас. %) (см. табл. 4). В одном случае в составе уранинита отмечаются примеси Y_2O_3 (3.15 мас. %) и FeO (0.99 мас. %) и нарушено соотношение U и O, возможно за счет эпитаксиального роста и превращения UO_2 в UO_{2+x} (Дымков, 1964).

Наряду с уран-торий-редкоземельными минералами в кварц-молибденитовом прожилке диагностирован ранее неизвестный минеральный вид – **фторсодержащий молибдат тория**. Минерал содержит 49.66–55.43 мас. % ThO_2 и 37.83–48.74 мас. % MoO_3 (см. табл. 4). Этот минерал обнаружен в виде идиоморфного метакристалла, частично корродирующего зерно монацита-(Ce), вблизи кристаллов рутила и циркона, сам метакристалл, в свою очередь, частично замещается молибденитом (фиг. 4е). Рентгеноспектральный микроанализ минерала в разных точках показал его некоторую неоднородность, обусловленную, главным образом, вариациями содержаний как главных элементов (Th, Mo), так и элементов-примесей – F (1.01–4.75 мас. %), CaO (0.0–0.74 мас. %) и P_2O_5 (0.0–2.08 мас. %). При отсутствии примесей Ca и P химический состав минерала наиболее соответствует формуле $\text{Th}(\text{MoO}_4)_2$ – двойному молибдату тория с примесью F.

Таким образом, молибденитовые руды Булуктаевского месторождения характеризуются относительно широким распространением U-Th-

РЗЭ-содержащих минералов, среди которых установлен ранее неизвестный, возможно, новый минеральный вид.

Валовые концентрации U и Th в рудах, по данным рентгено-флюоресцентного анализа, невысокие, достигают значений 28 и 32 г/т соответственно, причем содержания этих элементов значительно варьируют (табл. 5). Максимальные содержания урана установлены в кварц-молибденитовых прожилках, тогда как относительно повышенные концентрации тория более характерны для околожилльных грейзенизированных гранитов, содержащих вкрапленную молибденитовую минерализацию. В то же время относительно повышены содержания суммы РЗЭ, достигающие в некоторых образцах значений более 300 г/т (см. табл. 5). Наиболее обогащены РЗЭ граниты, содержащие вкрапленную молибденитовую минерализацию, однако кварц-молибденитовые прожилки также содержат РЗЭ в концентрациях до 175 г/т.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенных исследований в молибденитовых рудах Булуктаевского месторождения диагностировано 15 рудных минералов, представленных сульфидами, вольфраматами, молибдатами и минералами U-Th-РЗЭ. В отличие от месторождений Джидинского рудного поля, где вольфрамит представлен исключительно гюбнеритом (Damdinova, Damdinov, 2021), в данном

случае, наряду с гюбнеритом присутствует и вольфрамит, содержащий Mn и Fe в сопоставимых количествах. Одной из особенностей руд Булуктаевского месторождения является повышенное содержание Nb и V в рутиле. Примеси Nb характерны для рутила из редкометалльных гранитов (Aurischio et al., 2002; Černý et al., 1999), тогда как V характерен для рутила из плутоногенно-гидротермальных месторождений золота (Scott et al., 2011). Уран-торий-РЗЭ-содержащие минералы непосредственно в рудах молибден-вольфрамовых месторождений встречаются крайне редко, как правило, в виде единичных зерен акцессорных минералов – уранинита или браннерита (Боровиков и др., 2020; Moura et al., 2014). Соответственно, в рудах крупнейшего в регионе Первомайского молибденового месторождения эти минералы, за исключением единичных зерен монацита-(Ce) и уранинита, не обнаружены (Daminova et al., 2020).

На исследуемом Булуктаевском молибден-вольфрамовом месторождении уран-торий-редкоземельная минерализация представлена рядом минералов, часть из которых – крайне редкие. Монацит-(Ce) как акцессорный минерал обычно встречается в гранитоидах, однако в рудах Булуктаевского месторождения зерна и агрегаты монацита-(Ce) установлены и в составе кварц-молибденитовых прожилков, что говорит о гидротермальной природе по крайней мере их части. Этим, возможно, обусловлены вариации химического состава монацита-(Ce), в частности сильно различающиеся содержания Th. Поскольку изученные гранитоиды также подвержены гидротермально-метасоматическим изменениям, то выяснить природу монацита-(Ce) в каждом конкретном случае затруднительно вследствие того, что значительные вариации составов этого минерала наблюдаются в одном и том же образце. Для решения этого вопроса необходимы более детальные исследования акцессорного и гидротермального монацита-(Ce). В данном случае установлено, что Th-содержащий монацит-(Ce) мог быть сформирован гидротермальным путем, совместно с другими U-Th-РЗЭ-минералами.

Браннерит – достаточно распространенный минерал, известный как в рудах гидротермальных и метаморфогенных урановых месторождений, так и в комплексных золото-урановых месторождениях (Алешин и др., 2007; Будяк и др., 2017; Миронов и др., 2008; Тарасов и др., 2018; Cuneo et al., 2012; Steacy et al., 1974). Однако ортобраннерит, отличающийся присутствием гидроксильной группы в своем составе, распространен не так широко. Известны несколько находок этого минерала в Китае, Италии, Мексике и Словакии, указанные в базе данных Mindat (<https://www.mindat.org/>). Описаны также находки ортобраннерита в урановых рудах Алданских месторождений (Черников,

2012). Происхождение этого минерала связывается с выветриванием урансодержащих сиенитов, хотя он встречается и в составе гипогенных гидротермальных U-Mo руд (Kohut et al., 2013). В молибденовых рудах Булуктаевского месторождения минерал, отвечающий по составу ортобраннериту, имеет явно гипогенное происхождение, находится в ассоциации с молибденитом и мусковитом. Наличие фтора позволяет предположительно отнести этот минерал к F-содержащей разновидности ортобраннерита, однако для более точной диагностики необходимо провести дополнительные исследования, в первую очередь – получить рентгенограмму.

Диагностированный нами минерал, слагающий агрегат, обрастающий выделение рутила, близок по химическому составу к кобеиту. Этот минерал является крайне редким, единичные находки его диагностированы в пегматитах Японии и Новой Зеландии (Hutton, 1957; Masutomi et al., 1961; Takubo et al., 1950). Минерал, присутствующий в рудах Булуктаевского месторождения, имеет неоднородный химический состав, однако в целом соответствует теоретическому составу кобеита-(Y), что демонстрируют эмпирические формулы минерала, рассчитанные по результатам рентгеноспектрального микроанализа. Приведенные в цитируемых источниках составы кобеита характеризуются некоторыми отличиями от минерала, диагностированного в изучаемых рудах – присутствием примеси циркония и меньшим содержанием урана, однако минерал ранее был проанализирован лишь химическим анализом, не учитывающим возможное наличие микровключений других минералов. В то же время, согласно теоретической формуле этого минерала, он нестехиометричен, следовательно, в химическом составе минерала возможны значительные вариации содержания главных элементов. Так же как и в предыдущем случае, для более точной диагностики необходимы дополнительные исследования.

Одним из необычных, ранее не диагностированных минералов является фторсодержащий молибдат тория. Ранее известные молибдаты тория – ихнусаит (Ichnusaite – $\text{Th}(\text{MoO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) и нурагхейт (Nuragheite – $\text{Th}(\text{MoO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), в отличие от изученного минерала, водосодержащие и не имеют в своем составе фтора (согласно минералогической базе данных <https://www.mindat.org/>). Эти минералы диагностированы в единственном местонахождении – на о. Сардиния в Италии (Orlandi et al., 2015), где они установлены в кварцевых жилах Bi-Mo-рудопроявления. Диагностированный нами минерал отличается присутствием фтора и отсутствием ОН-группы, причем содержания фтора варьируют. Несмотря на небольшое число определений, отмечается, что

содержания фтора находятся в обратной зависимости с Мо и прямо коррелируют с Th (см. табл. 4). Кристаллические структуры двойных молибдатов тория и щелочных металлов изучены экспериментально (Бушуев, Трунов, 1975 и др.). Имеющиеся сведения можно применить и к природным аналогам, однако необходимо провести рентгеновские исследования изученного минерала.

Таким образом, судя по морфологии и взаимоотношениям уран-ториевых минералов с окружающими рудными и породообразующими, можно сделать вывод, что все изученные U-Th-P3Э-содержащие минералы были сформированы гидротермальным путем. Ассоциация этих минералов с молибденитом и другими рудными минералами свидетельствует об их совместном формировании на раннем (молибденитовом) этапе развития Булуктаевского молибден-вольфрамового месторождения, тогда как в рудах позднего вольфрамитового этапа эти минералы не обнаружены.

Происхождение U-Th-P3Э-содержащих минералов может быть обусловлено влиянием редкометальных Li-F-гранитов, являющихся одним из источников урана (Алешин и др., 2007). Косвенно влияние редкометального магматизма подтверждает наличие примеси Nb в акцессорном рутиле. Однако в рудном поле Булуктаевского месторождения Li-F-граниты не установлены, хотя последние известны в пределах Джидинского рудного района (Антипин, Перепелов, 2011).

ВЫВОДЫ

1. В молибденовых рудах Булуктаевского месторождения установлено 15 рудных минералов, включающих, кроме молибденита, сульфиды (пирит, галенит, халькопирит), вольфраматы (вольфрамит, шеелит), молибдаты (повеллит, вольфенит) и U-Th-P3Э-содержащие минералы.

2. Характерной особенностью руд месторождения является широкое развитие и относительно большое количество минеральных видов U-Th-P3Э-минералов. Среди них диагностированы монацит-(Ce), браннерит, торит, уранинит, ранее неизвестный минеральный вид – фторсодержащий молибдат тория и минералы, близкие по составу к ортобраннериту и кобеиту-(Y).

3. Все изученные уран-торий-редкоземельные минералы были сформированы в ходе гидротермального процесса на раннем (молибденитовом) этапе развития Булуктаевского молибден-вольфрамового месторождения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны анонимным рецензентам за внимательное прочтение рукописи и замечания, которые позволили улучшить ее.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект ГИН СО РАН № АААА-А21-121011390003-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алешин А.П., Величкин В.И., Крылова Т.Л. Генезис и условия формирования месторождений уникального молибден-уранового Стрельцовского рудного поля: новые минералого-геохимические и физико-химические данные // Геология руд. месторождений. 2007. Т. 49. № 5. С. 446–470.
- Антипин В.С., Перепелов А.Б. Позднепалеозойский редкометальный гранитоидный магматизм Южного Прибайкалья // Петрология. 2011. Т. 19. № 4. С. 386–398.
- Батурина Е.Е., Пунт Г.С. Молибденовые и вольфрамовые месторождения Западного Забайкалья. М.: Наука, 1984. 152 с.
- Боровиков А.А., Гущина Л.В., Говердовский В.А., Гимон В.О. Физико-химическая модель формирования руд Калгутинского месторождения: термодинамическое моделирование // Геохимия. 2020. Т. 65. № 1. С. 31–45.
- Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л., Викентьев И.В., Аристов В.В., Лаломов А.В., Мурашов К.Ю. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы развития // Геология руд. месторождений. 2016. Т. 58. № 2. С. 97–119.
- Будяк А.Е., Паришин А.В., Спиридонов А.М., Реутский В.Н., Дамдинов Б.Б., Волкова М.Г., Тарасова Ю.И., Абрамова В.А., Брюханова Н.Н., Зарубина О.В. Геохимические особенности формирования Au–U месторождений типа “неогласия” (Северное Забайкалье) // Геохимия. 2017. № 2. С. 149–160.
- Бузкова Н.Г. Новые данные о соотношении гранитоидного магматизма с эндогенным оруденением (на примере Булуктаевского массива в Западном Забайкалье) // Доклады Академии наук. 1994. Т. 338. № 6. С. 793–797.
- Бушуев Н.Н., Трунов В.К. Двойные молибдаты рубидия и тория // Журнал неорганической химии. 1975. Т. 20. № 4. С. 1143–1144.
- Гаськов И. В. Гидротермальные зоны как возможные источники россыпного золота Булуктаево-Харацайского рудного узла (Джидинский рудный район Бурятии) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2019. № 2. С. 82 – 92.
- Гордиенко И.В., Гороховский Д.В., Смирнова О.К., Ланцева В.С., Бадмацыренова Р.А., Орсов Д.А. Джидинский район: геологическое строение, структурно-металлогенетическое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования, прогнозы и перспективы освоения // Геология руд. месторождений. 2018. Т. 60. № 1. С. 3–37.
- Дымков Ю.М. Об эпитаксиальном превращении $U_3O_8 \rightarrow UO_2 + x$ в настуранах // Доклады АН СССР. 1964. Т. 157. № 3. С. 583–585.
- Мионов А.Г., Карманов Н.С., Мионов А.А., Ходырева Е.В. Золото-браннеритовые самородки в россыпи Озер-

- нинского рудного узла (Бурятия) // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 10. С. 984–989.
- Рехарский В.И.* Геохимия молибдена в эндогенных процессах. М. Наука, 1973. 272 с.
- Punn Г.С.* Новые данные о стадийности в формировании Булуктаевского молибдено-вольфрамового месторождения // Матер. по геологии и полезным ископаемым Бурятской АССР. 1966. Вып. X. С. 155–168.
- Рундквист Д.В., Денисенко В.К., Павлова И.Г.* Грейзеновые месторождения: онтогенез и филогенез. М.: Недра, 1971. 328 с.
- Тарасов Н.Н., Кочкин Б.Т., Величкин В.И., Дойникова О.А.* Месторождения Хиагдинского урановорудного поля (Бурятия): условия образования и факторы контроля // Геология руд. месторождений. 2018. Т. 60. № 4. С. 392–400.
- Туговик Г.И.* Эксплозии и рудный процесс. М.: Недра, 1974. 208 с.
- Черников А.А.* Сложные оксиды урана в урановых рудах // Новые данные о минералах. 2012. Вып. 47. С. 71–83.
- Aurischio C., De Vito C., Ferrini V., Orlandi P.* Nb and Ta oxide minerals in the Fonte del Prete granitic pegmatite dike, Island of Elba, Italy // Can. Mineral. 2002. V. 40. P. 799–814.
- Černý P., Chapman R., Simmons W. B., Chackowsky L. E.* Niobian rutile from the McGuire granitic pegmatite, Park County, Colorado: solid solution, exsolution, and oxidation // Amer. Mineral. 1999. V. 84. P. 754–763.
- Cuney M., Emertz A., Mercadier J., Mykchaylov V., Shunko V., Yuslenko A.* Uranium deposits associated with Na-metasomatism from central Ukraine: A review of some of the major deposits and genetic constraints // Ore Geol. Rev. 2012. V. 44. P. 82–106.
- Damdinova L. B., Damdinov B. B.* Tungsten ores of the Dzhi-da W–Mo ore field (Southwestern Transbaikalia, Russia): Mineral composition and physical-chemical conditions of formation // Minerals. 2021. V. 11. 725.
- Damdinova L. B., Damdinov B. B., Huang X.-W., Bryansky N. V., Khubanov V. B., Yudin D. S.* Age, conditions of formation, and fluid composition of the Pervomaiskoe molybdenum deposit (Dzhidinskoe ore field, South-Western Transbaikalia, Russia) // Minerals. 2019. V. 9. 572.
- Hutton C. O.* Kobeite from Paringa River, south Westland, New Zealand // Amer. Mineral. 1957. V. 42. P. 342–353.
- Kiseleva G. D., Laputina I. P., Chukhrova O. F., Tyuleneva V. M.* U–Th and Au–Bi–Te–Zn mineralization of the unique rare metal-tin deposit Syrymbet (Republic of Kazakhstan) // 16th General Meet. IMA. Abstr. Vol. Piza (Italy): 1994. P. 205–206.
- Kohut M., Trubac J., Novotny L., Ackerman L., Demko R., Bartalsky B., Erban V.* Geology and Re–Os molybdenite geochronology of the Kuriškova U–Mo deposit (Western Carpathians, Slovakia) // J. of Geosciences. 2013. V. 58. P. 275–286.
- Kosals Ya. A., Dmitriyeva A. N.* Se-quences and temperatures in formation of the Buluktay molybdenum-tungsten deposit (Southwestern Transbaykal) // International Geology Review. 1973. V. 15. № 1. P. 25–30.
- Masutomi K., Nagashima, Kato A.* Kobeite from the Ushio mine, Kyoto Prefecture, Japan, and re-examination of kobeite // Mineralogical Journal (Japan). 1961. V. 3. P. 139–147.
- Moura A., Dória A., Neiva A. M. R., Leal Gomes C., Creaser R. A.* Metallogenesis at the Carris W–Mo–Sn deposit (Gerês, Portugal): Constraints from fluid inclusions, mineral geochemistry, Re–Os and He–Ar isotopes. Ore Geol. Rev. 2014. V. 56. P. 73–93.
- Orlandi P., Biagioni C., Bindi L., Merlino S.* Nuragheite, Th(MoO₄)₂·H₂O, the second natural thorium molybdate and its relationships with ichnusaite and synthetic Th(MoO₄)₂. Amer. Mineral. 2015. V. 100. P. 267–273.
- Ripp G. S.; Smirnova, O. K.; Izbrodin I. A.; Lastochkin E. I.; Rampilov M. O.; Posokhov V. F.* An Isotope Study of the Dzhi-da Mo–W Ore Field (Western Transbaikalia, Russia). Minerals 2018. V. 8. 546.
- Scott K. M., Radford N. W., Hough R. M., Reddy S. M.* Rutile compositions in the Kalgoorlie Goldfields and their implications for exploration // Australian J. Earth Sciences: An International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia. 2011. V. 58 (7). P. 803–812.
- Steacy H. R., Plant R., Boyle R. W.* Brannerite associated with native gold at the Richardson Mine, Ontario // Can. Mineral. 1974. V. 12. P. 360–363.
- Takubo J., Ukai Y., Minato T.* Studies on the minerals containing rare elements (Part II) A new mineral found in Kobe-mura, Kyoto Prefecture, Japan // Chishitsugaku Zasshi. 1950. V. 56. P. 509–513.