

РАЗДЕЛ I. ГЕОЛОГИЯ. СЕЙСМИКА. ГИС [GEOLOGY. SEISMOLOGY. GIS]

УДК 549

Р.В. КУЖУГЕТ

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)

РЕДКИЕ МИНЕРАЛЫ, ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ ТОЛЬКО НА ТЕРРИТОРИИ ТУВЫ (Россия)

Тува является уникальным геологическим регионом, обладающим запасами разнообразных полезных ископаемых. В «золотой век» отечественной геологии (1950–1990 гг.) здесь были открыты многочисленные месторождения и рудопроявления цветных, редких и благородных металлов, нерудного сырья, а также впервые найдены и изучены ранее неизвестные минералогической науке минералы. В статье кратко обобщена информация о редких минералах, встречающихся только на территории Тувы.

Ключевые слова: минерал, минеральный вид, гречишевит, кадырэлит, карасугит, циркосульфат, лаврентьевит, Тува.

Рис. 2. Библ. 22 назв. С. 8–13.

R.V. KUZHUGET

Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)

RARE MINERALS ON THE TERRITORY OF TUVA (RUSSIA)

Tuva is a unique geological region with numerous deposits of non-ferrous, rare and precious metals and other minerals. During the "golden age" of Russian geology, within 1950–1990, many deposits of various metals and nonmetallic raw materials were discovered in Tuva, and new mineral species previously unknown to mineralogical science were revealed and studied for the first time. The article briefly summarizes information on the rare minerals found within the territory of Tuva.

Keywords: mineral, mineral species, grechishchevite, kadyrelite, karasugite, zircosulfate, lavrentievite, Tuva.

Figures 2. References 22. P. 8–13.

Минерал (фр. *mineral*, от позднелат. *minera* — руда) — природное тело с определённым химическим составом и кристаллической структурой, образующееся в результате природных физико-химических процессов на поверхности или в глубинах Земли (и других космических тел), главным образом, как составная часть горных пород, руд и метеоритов (Большая..., 2008). Минерал существует в виде индивидов, каждый из которых имеет свои особенности, т. е. минеральный индивид — это конкретный природный объект. В различных классификациях минералов используется понятие «минеральный вид» (Булах и др., 2008, 2014), т. е. минеральный вид является основной классификационной единицей систематики в минералогии.

В середине XX в. был введён строгий международный порядок включения в список минералов новых открытий, который оказал влияние и на правила их наименований. 8 апреля 1958 г. в Мадриде была учреждена ММА — Международная минералогическая ассоциация (International Mineralogical Association — IMA) с целью коорди-

нации действий и унификации терминов в области минералогии, в частности — стандартизации номенклатуры более 4000 известных минеральных видов. По состоянию на начало 2017 г. ММА объединяет ассоциированных членов из 39 стран. Наиболее важным и активным подразделением ММА является КНМНК — Комиссия по новым минералам, номенклатуре и классификации (далее — Комиссия). КНМНК подразделяется на международную (Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification — CNMNC) и национальные Комиссии, председатели которых выбираются на конференции ММА. Председателем российской Комиссии является профессор В.Г. Кривовичев, международной — Рицуро Мияваки (Япония).

Национальные Комиссии детально рассматривают научные материалы, обосновывающие выделение нового минерала, передают своё заключение в международную Комиссию, и только после положительного решения последней новому минералу присваивается статус «утверждён». Строго говоря, международная Комиссия в лице ММА решает, что является минералом, а что нет. Минералам, открытым до 1959 г., ММА в большинстве случаев присвоен статус действительного минерального вида. Минералы, открытые с 1959 г. и позже, имеющие статус ММА «утверждён», относятся к минералам.

МИНЕРАЛЫ, ВПЕРВЫЕ ОТКРЫТЫЕ НА ТЕРРИТОРИИ ТУВЫ

На территории Республики Тыва (РТ) были открыты следующие минералы: в Усть-Уюкском V-Se-U месторождении — *кадмоселит* $CdSe$ и *ферроселит* $FeSe_2$; в Кара-Сугском Fe-REE-барит-флюоритовом месторождении — *карасугит* $SrCaAlF_6(OH)$, *тихоненковит* $SrAlF_4(OH) \times H_2O$; в Хову-Аксынском никель-кобальтовом месторождении — *лазаренкоит* $CaFeAs_3O_7 \times 3H_2O$, *смольяниновит* $Co_3Fe_2(AsO_4)_4 \times 11H_2O$, *шубниковит* $Ca_2Cu_8(AsO_4)_6Cl(OH) \times 7H_2O$; в Кадырэльском рудопоявлении ртути — *гречишевит* $Hg_3S_2(Br,Cl,I)_2$, *кадырэлит* $Hg_4(Br,Cl)_2O$, *кузьминит* Hg_2Br_2 ; в Арзакском рудопоявлении ртути — *кузнецовит* $Hg_3(AsO_4)Cl$ и *лаврентьевит* $Hg_3S_2(Cl,Br)_2$; в Коргеретабинском щелочном массиве на нагорье Сангилен — *циркосульфат* $Zr(SO_4)_2 \times 4H_2O$ и *циркофиллит* $K_2Na_2Mn_7Zr_2Si_8O_{26(27)}(OH)_4F$; в Пичихольском щелочном массиве Сангилен — *торбагнезит* $ThCa(CO_3)_2F_2 \times 3H_2O$ (Бурьянова, Комков, 1955; Яхонтова, 1956; Бурьянова и др., 1957; Павленко и др., 1965; Капустин, 1965, 1972; Васильев, Лаврентьев, 1980; Яхонтова, Плюснина, 1981; Васильев и др., 1984, 1986; Васильев, 1987; Petersen и др., 1994; Pekov, 1998; Кривовичев, 2008).

По состоянию на начало 2019 г. насчитывается 15 впервые открытых в Туве новых минералов, в т. ч. 3 из них (кадмоселит, смольяниновит и ферроселит) — установлены до образования ММА и один минерал (шубниковит) имеет дискуссионный статус, т. к. структура минерала до сих пор не расшифрована из-за изогнутой тонкопластинчатой формы кристаллов, не дающей шансов установить структуру современными методами исследований. Восемь из открытых в Туве новых минералов названы в честь учёных (гречишевит, кузнецовит, кузьминит, лаврентьевит, лазаренкоит, смольяниновит, тихоненковит, шубниковит), пять — по составу (кадмоселит, торбагнезит, ферроселит, циркосульфат, циркофиллит), и два минерала получили название по месту находки (кадырэлит, карасугит). Шесть из впервые открытых здесь минералов — гречишевит, кадырэлит, карасугит, лаврентьевит, тихоненковит и циркосульфат — и по сей день встречаются только на территории Тувы. Помимо 15-ти охарактеризованных выше статусных минералов, ранее в рудах Хову-Аксынского арсенидно-никель-кобальтового месторождения описаны ховахсит, тувит и элегестит как новые минералы, но ММА их рассматривает как смесь арсенатов Co, Ni и Fe переменного состава, т. е. не относит к минералам. А сведения об арзаките с химическим составом $Hg_3S_2(Br,Cl)_2$, установленном в 1984 г. в окисленных рудах Арзакского ртутного рудопоявления (Пий-Хемский кожуун), опубликованы (Васильев и др., 1984, 1986) без утверждения ММА.

МИНЕРАЛЫ, ВСТРЕЧАЮЩИЕ ТОЛЬКО НА ТЕРРИТОРИИ ТУВЫ:

Гречищевит (англ. *Grechishchevite*) — гипергенный минерал, сульфогалогенид Hg. Химическая формула — $Hg_3S_2(Br,Cl,I)_2$. Сингония тетрагональная. Призматические кристаллы, зёрна неправильной формы и их сростки, порошковатые агрегаты (Васильев и др., 1989). Цвет отмечается от оранжевого до тёмно-оранжевого, под действием солнечного света темнеет до оранжево-коричневого и чёрного. Блеск алмазный, стеклянный. Черта жёлтая. Прозрачный. Твёрдость (шкала Мооса) 2,5. Удельный вес 7,2. Хрупкий. ММА статус — утверждён. Минерал образуется в зоне окисления кинварных руд, образуя скопления зёрен (до 0,2 мм), сростки, призматические кристаллы (до 0,3 мм) и порошковатые агрегаты в полостях выщелачивания сульфидов и кальцита. Место распространения (нахождения) — в Республике Тыва. Минерал впервые обнаружен и описан В.И. Васильевым (канд. геол.-мин. наук, ИГиГ СО РАН, Новосибирск) в 1989 г. в зоне окисления Кадырэльского ртутного рудопроявления в правом борту долины р. Оораш-Хем (приток р. Баян-Кол, Кызылский кожуун), а также в зоне окисления Арзакского рудопроявления ртути, расположенного в истоках р. Арзак (Уюкский хребет, Пий-Хемский кожуун), в ассоциации с каломелью Hg_2Cl_2 , Вг-каломелью, кузьминитом Hg_2Br_2 , кордероитом $Hg_3S_2Cl_2$, Вг-кордероитом, кадырэлитом, лаврентьевитом $Hg_3S_2Cl_2$, эглестонитом $Hg_6Cl_3O_2H$ и самородной ртутью (Васильев и др., 1989; Реков, 1998). Минерал назван в честь Олега Константиновича Гречищева (1936–2014), известного геолога, внёсшего большой вклад в изучение и открытие ртутных месторождений Тувы, заслуженного геолога Тувинской АССР (1989), заслуженного геолога РСФСР (1984), канд. геол.-мин. наук, старшего научного сотрудника Института геологии и минералогии СО РАН (Пшеничкин, 2005).

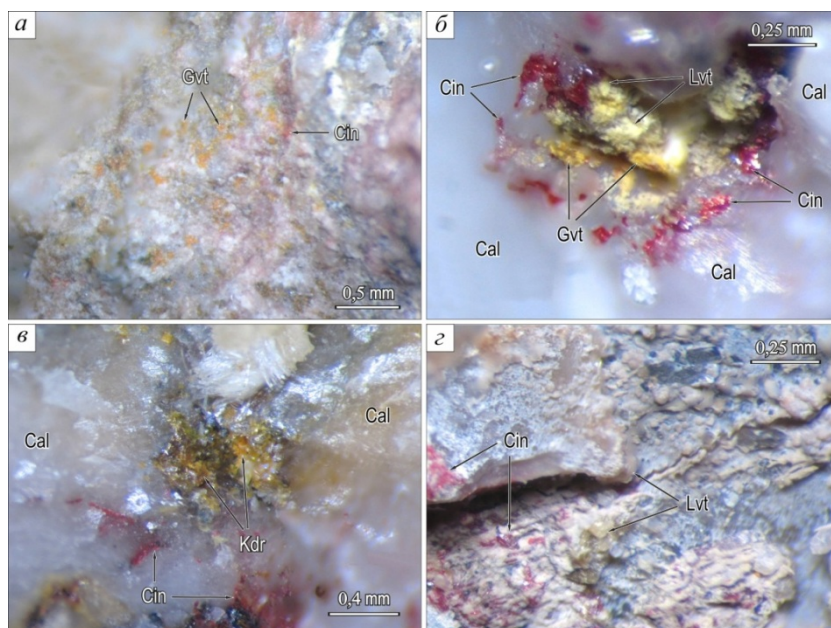


Рисунок 1. Формы выделения гречищевита (Gvt), лаврентьевита (Lvt) и кадырэлита (Kdr) (Минералы..., Электрон. ресурс)

а — оранжевые кристаллы и зёрна гречищевита (Gvt) с киноварью (Cin) на плоскости раскола окварцованного риолита (рудопроявление Арзак); б — в кальците (Cal) жёлто-оранжевый порошковатый гречищевит (Gvt) сростается с бледно-жёлтым порошковатым лаврентьевитом (Lvt) в ассоциации с киноварью (Cin) (рудопроявление Кадырэль); в — оранжевые зёрна кадырэлита (Kdr) в кальците (Cal) в ассоциации с киноварью (Cin) (рудопроявление Кадырэль); г — выделения бледно-жёлтых кристаллов лаврентьевита в ассоциации с киноварью (Cin) (рудопроявление Арзак).

Кадырэлит (англ. *Kadyrelite*) — гипергенный минерал оксигалогенид Hg. Химическая формула — $Hg_4(Br,Cl)_2O$. Сингония кубическая. Цвет ярко-оранжевый. Черта

оранжево-жёлтая. Прозрачный. Блеск стеклянный, алмазный. Излом неровный. Твёрдость (шкала Мооса) 2,5–3. Удельный вес 8,79. Ксеноморфные зёрна. ММА статус — утверждён. Минерал открыт и описан в 1987 г. В.И. Васильевым (канд. геол.-мин. наук, ИГМ СО РАН) в зоне окисления Кадырэльского ртутного рудопроявления, расположенного в правом борту долины р. Оораш-Хем (приток р. Баян-Кол, Кызылский кожуун), в ассоциации с эггестонитом, Вг-эггестонитом, каломелью, Вг-каломелью, кузьминитом, Вг-кордероитом, лаврентьевитом и лимонитизированными реликтами пирита. Минерал назван по названию рудопроявления (Васильев, 1987).

Карасугит (англ. *Karasugite*) — редкий минерал, алюмофторид Sr и Ca. Химическая формула — $SrCaAlF_6(OH)$. Сингония моноклинная. Кристаллы клиновидные и тонкопластинчатые удлинённые (до 0,25 мм), собранные в розетки и веерообразные агрегаты (до 1 мм). Цвет бесцветный. Прозрачный. Черта белая. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Хрупкий. Удельный вес 3,06. ММА статус — утверждён. Впервые найден А.П. Хомяковым в 1961 г. в трещинах лимонит-гематитовой руды в зоне окисления Карасугского карбонатитового Fe-REE-барит-флюоритового месторождения, расположенного в левом борту р. Хожей (Чаа-Хольский кожуун). Карасугит ассоциирует с тихоненковитом, геарксутитом, целестином, флюоритом и кварцем. Минерал назван по названию месторождения (Petersen et al., 1994; Pekov, 1998).

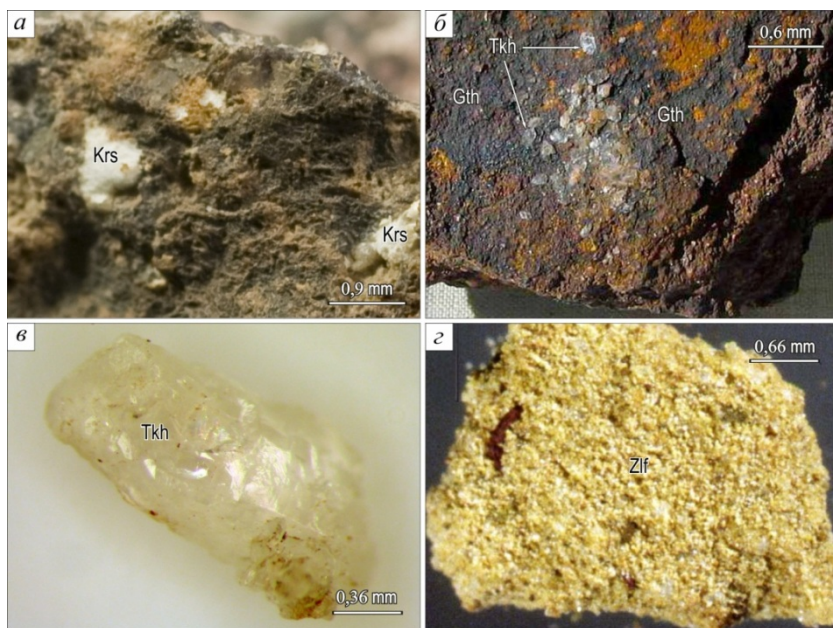


Рисунок 2. **Формы выделения карасугита (Krs), тихоненковита (Tkh), циркосульфата (Zlf)**
(по данным сайта (Всё о геологии. Геовикипедия, Электрон. ресурс))

а — агрегаты карасугита (Krs); б — выделения тихоненковита (Tkh) в гётите (Gth); в — кристалл тихоненковита (Tkh); з — агрегат порошкообразного циркосульфата (Zlf).

Лаврентьевит (англ. *Lavrentievite*) — гипергенный минерал сульфогалогенид Hg. Химическая формула — $Hg_3S_2(Cl,Br)_2$. Сингония моноклинная. Микроскопические кристаллы и их сростки. Цвет бесцветный до жёлтого, зеленоватый, коричневатожёлтый. Прозрачный. Блеск стеклянный. Твёрдость (шкала Мооса) 2–2,5. Удельный вес 7,4–7,5. ММА статус — утверждён. Впервые был найден в Туве на Кадырэльском рудопроявлении, потом на Арзакском месторождении ртути. На обоих объектах тесно ассоциирует с каломелью, эггестонитом, Вг-кордероитом, Вг-эггестонитом, самородной ртутью (Васильев и др., 1984, 1986). Минерал назван в память о Михаиле Алексеевиче Лаврентьеве (1900–1980), математике, механике, основателе и первом

председателе Сибирского отделения АН СССР и Новосибирского Академгородка, академике АН СССР (с 1946 г.) и вице президенте АН СССР (в 1957–1976 гг.).

Тихоненковит (англ. *Tikhonenkovite*) — редкий минерал состава $\text{SrAlF}_4(\text{OH}) \times \text{H}_2\text{O}$. Сингония моноклинная. Сростки кристаллов; друзовые корочки. Цвет бесцветный, светло-розовый. Черта белая. Прозрачный. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твёрдость (шкала Мооса) 3,5. Удельный вес 3,26. ММА статус — утверждён. Авторы — А.П. Хомяков, В.И. Степанов, В.А. Молева, З.В. Пудовкина. Минерал найден в 1964 г. в зоне окисления сидеритовых жил Карасугского Fe-REE-барит-флюоритового месторождения (Чаа-Хольский кожуун) в ассоциации с лимонитом, гидрогематитом, ярозитом, малахитом, геарксутитом, баритом, целестином, флюоритом, стронцианитом и кварцем (Хомяков и др., 1964). Минерал назван в честь Игоря Петровича Тихоненкова (1927–1961) — советского минералога и петролога, исследователя щелочных массивов (Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов РАН).

Циркосульфат (англ. *Zircosulfate*) — гипергенный минерал циркония. Химическая формула — $\text{Zr}(\text{SO}_4)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$. Сингония ромбическая. Компактные порошковатые массы. Цвет бесцветный до белого. Блеск матовый. Твёрдость 2,5–3. Удельный вес 2,85. ММА статус — утверждён. Впервые был найден в 1963 г. в выветрелом сульфидсодержащем пегматите в щелочном массиве Коргере-Даба (Коргередабинский массив, Эрзинский кожуун) на нагорье Сангилен в ассоциации с гизингеритом, смитсонитом ZnCO_3 и лимонитом. Автор — Ю.Л. Капустин. Минерал назван по химическому составу (Капустин, 1965).

Таким образом, 6 из 15 впервые открытых минералов на территории Республики Тыва по сей день встречаются только на её территории, остальные минералы являются редкими минералами, но после их открытия в данном регионе были описаны и в других рудных районах Европы, Северной Америки и Азии. Минералы, которые встречаются только на территории Тувы, являются гипергенными минералами образовавшиеся в зонах гипергенеза разнотипных месторождений и их редкая распространённость обусловлена их растворимостью в воде, также их сравнительно небольшие размеры, минеральные формы (единичные микрозёрна, корки, налёты, кристаллы микронного размера) усложняют их обнаружение в других регионах нашей планеты.

ЛИТЕРАТУРА

Большая Советская энциклопедия. 3-е изд. – М., 2008. – 672 с.

Булах А.Г., Золотарёв А.А., Кривовичев В.Г. Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов. – СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2014. – 133 с.

Булах А.Г., Кривовичев В.Г., Золотарёв А.А. Общая минералогия. 4-е изд. – М.: Академия, 2008. – 416 с.

Бурьянова Е.З., Комков А.И. Новый минерал — ферросилит // ДАН СССР. – 1955. – № 105 (4). – С. 812–813.

Бурьянова Е.З., Ковалёв Г.А., Комков А.И. Новый минерал кадмоселит // Зап. ВМО. – 1957. – Т. 86. – Вып. 5. – С. 626–628.

Васильев В.И., Лаврентьев Ю.Г. Кузнецовит $\text{Hg}_6\text{As}_2\text{Cl}_2\text{O}_9$ — новый ртутный минерал // ДАН. – 1980. – Т. 225. – № 4. – С. 963–968.

Васильев В.И., Пальчик Н.А., Гречищев О.К. Лаврентьевит и арзакит — новые природные сульфогалогениды ртути // Геология и геофизика. – 1984. – № 7. – С. 54–63.

Васильев В.И., Лаврентьев Ю.Г., Пальчик Н.А. Новые данные об арзаките и лаврентьевите // ДАН СССР. – 1986 – Т. 290. – № 12. – С. 948–951.

Васильев В.И. Кадырэлит $\text{Hg}_4(\text{Br}, \text{Cl})_2\text{O}$ — новый оксигалогенид ртути Кадырэльского рудопоявления (Тувинская АССР) // Зап. ВМО. – 1987. – Ч. 116. – Вып. 6. – С. 733–737.

Васильев В.И., Усова Л.В., Пальчик Н.А. Гречищевит $\text{Hg}_3\text{S}_2(\text{Br}, \text{Cl}, \text{I})_2$ — новый гипергенный сульфогалогенид ртути // Геология и геофизика. – 1989. – № 7. – С. 61–69.

Капустин Ю.Л. Циркосульфат — новый минерал // Зап. ВМО. – 1965. – Ч. 94, вып. 5. – С. 530–533.

- Капустин Ю.Л. Циркофиллит — циркониевый аналог астрофиллита // Зап. ВМО. – 1972. – Ч. 101, вып. 4. – С. 459–463.
- Кривовичев В.Г. Минералогический словарь. – СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2008. – 556 с.
- Павленко А.С., Орлова Л.П., Ахманова М.В., Тобелко К.И. О фторкарбонате тория — торбаст-незите // Зап. ВМО. – 1965. – Ч. 94, вып. 1. – С. 105–114.
- Пишеничкин А.Я. Минералы, названные в честь геологов-политехников или открытые ими // Изв. ТПУ. – Томск, 2005. – Т. 308. – № 1. – С. 235–242.
- Всё о геологии: Сайт Геовикипедия [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://wiki.web.ru/wiki/>, www.mindat.org, свободный (дата обращения: 09.10.2019).
- Минералы и месторождения России и стран ближнего зарубежья: Сайт Webmineral.ru: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <https://webmineral.ru/>, свободный (дата обращения: 09.10.2019).
- Хомяков А.П., Степанов В.И., Молева В.А., Пудовкина З.В. Новый минерал тихоненковит $\text{SrAlF}_4(\text{OH})\cdot\text{H}_2\text{O}$ // ДАН СССР. – 1964. – Т. 156. – С. 345–347.
- Яхонтова Л.К. Смольяниновит — новый минерал // Докл. АН. – 1956. – Т. 109. – № 4. – С. 849–850.
- Яхонтова Л.К., Плюснина И.И. Новый минерал — лазаренкоит // Минералогический журн. – 1981. – Т. 3. – С. 92–96.
- Pekov I.V. Minerals First Discovered on the Territory of the Former Soviet Union. – М., 1998. – 369 p.
- Petersen O.V., Khomyakov A.P., Leonardsen E.S., Micheelsen H.I., Johnsen O. Karasugite, $\text{SrCaAl}[\text{F}(\text{OH})]_7$, a new mineral species from the Karasug Fe-REE-barite-fluorite deposit, Tannu-Ola Range, South Siberia, Russia // Neues Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte. – 1994. – № 5. – P. 209–216.

УДК 553.3; 544.3; 550.426.6

В.И. ЛЕБЕДЕВ, Ю.А. КАЛИНИН

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск, Россия)

ИНДИКАТОРНЫЕ МИНЕРАЛЫ И БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ГИДРОТЕРМАЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ОБРАЗОВАНИЯ КОБАЛЬТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Приведены результаты изучения минералов-индикаторов продуктивных парагенезисов и состава металлоносных флюидов Ni-Co-As ($\pm\text{U-Ag}$), Co-S-As ($\pm\text{Au-W}$), Cu-Co-As ($\pm\text{Sb-Ag}$) месторождений рудного пояса Bou-Offro–El-Graaga (Магос). Определение физико-химических параметров рудоотложения по флюидным включениям в минералах осуществлялось с использованием как традиционных, так и новых инструментальных методов термобаргеохимии: термо- и криометрия, КР-спектроскопия, концентрация рудных и петрогенных элементов в индивидуальных флюидных включениях оценивались методом LA-ICP-MS. Полученные результаты послужили основой исследования, главной задачей которого являлось термодинамическое моделирование условий совместного переноса и отложения Co, Ni, Cu, Fe, Mg, Ca, Ag, Au, Bi, U, Pt и Pd с расчётом ряда равновесных состояний гидротермальной системы, по составу близкой к природным рудообразующим флюидам. Выявлены физико-химические факторы