

ОЛОВЯННО-РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ГРЕЙЗЕНЫ СОЛНЕЧНОГО КАССИТЕРИТ-СИЛИКАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК, РОССИЯ)

**П.Г. Коростелев¹, В.Г. Гоневчук¹, Н.В. Гореликова², Н.И. Екимова¹, В.В. Кононов¹,
Т.Л. Крылова², А.А. Орехов¹, Б.И. Семеняк¹, В.И. Сучков³**

¹ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр.100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток, 690022; e-mail: kor.pg@yandex.ru

²ФГБУН Институт геологии, минералогии, петрографии и геохимии РАН, Старомонетный пер. 35, г. Москва, 109017

³ООО Солнечный ГОК, ул. Ленинская 27, п. Солнечный, Солнечный район, Хабаровский край, 682711

Поступила в редакцию 19 марта 2015 г.

В статье впервые рассмотрены морфология, состав и условия формирования грейзенов одного из типичных представителей касситерит-силикатной формации – Солнечного месторождения Комсомольского рудного района. Грейзены расположены в корневых частях месторождения и представляют собой жильно-прожилковую систему, сформированную в трещинах контракции метасоматически переработанной кровли монцогранитов (возраст 94–92 млн лет).

Состав грейзенов касситерит-хлорит-карбонат-мусковит-кварцевый с примесью топаза, флюорита, апатита отражает состав монцогранитов. Возраст грейзенов (85.3 млн лет по мусковиту) близок возрасту гранитовых аплитов (80–85 млн лет, по валу и биотиту) заключительной фазы интрузивного магматизма. Флюидный режим формирования их отличается от условий образования промышленных руд повышенными температурой, давлением и концентрацией растворов. Характерная особенность грейзенов – повышенное содержание легких РЗЭ, U и Th, которые в процессе минералообразования кристаллизуются совместно с касситеритом в виде фторкарбонатов РЗЭ, торита и ураноторита.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, грейзены, Солнечное месторождение, Комсомольский рудный район, Дальний Восток.

ВВЕДЕНИЕ

Грейзены не являются типоморфными образованиями касситерит-силикатно-сульфидной формации, хотя и выделены в качестве одного из ее типов [4]. В разном количестве они присутствуют на большинстве детально разведанных и изученных месторождений. В частности, грейзены, связанные с лейкогранитами и гранит-порфирами, встречены на глубоких горизонтах Дубровского касситерит-хлоритового месторождения Кавалеровского района [21].

В Комсомольском районе кварц-турмалин-мусковитовые грейзены с температурами образования выше 400 °С встречены на глубоких горизонтах Фестивального месторождения [10]. Оловоносные мусковит-кварц-турмалиновые с хлоритом грейзены изучены [5, 8] среди вскрытых эрозией пироксеновых гранитов и гранодиоритов юго-западной (Чал-

бинской) площади района, на которой были известны ореолы РЗЭ (Кошман П.Н., устное сообщение).

В рудах Солнечного месторождения ранее были выявлены признаки грейзенизации в виде находки топаза – характерного минерала грейзенов, появление которого было отнесено к посттурмалиновому этапу [15]. Позднее топаз эпизодически обнаруживался в составе кварц-биотит-полевошпат-молибденит-шеелитовых руд этого месторождения, близких по параметрам образования грейzenам [2].

Предметом настоящего исследования являются содержащие олово и РЗЭ грейзены, вскрытые на глубоких горизонтах Солнечного месторождения – одного из наиболее крупных в Комсомольском рудном районе.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании использовались традиционные методы геологических наблюдений и микроскопии,

выполнялся химический анализ проб гранитоидов, руд и метасоматитов. Содержание рудных, редких и редкоземельных элементов определялось методом ICP-MS (ИГЕМ и ДВГИ РАН). Рудные и жильные минералы изучались методом рентгеноспектрального микроанализа (микроанализатор JXA 8100, ДВГИ). Препаратами служили полированные, прозрачно-полированные шлифы и эпоксидные шашки с впрессованными зернами жильных и рудных минералов. Диагностика редкоземельных минералов подтверждалась ИК-спектрометрическим анализом (Фурье-интерферометр Nicolet 6700, фирма Thermo, спектры поглощения в интервале 4000–220 см⁻¹, ДВГИ). Определение изотопного (K-Ar и Rb-Sr) возраста проводилось в лаборатории ИГЕМ РАН по монофракциям биотита, мусковита, ортоклаза, кварца, редко (лейкограниты и метасоматиты) – по валу.

Изучение флюидных включений (ФВ) выполнено Т.Л. Крыловой (ИГЕМ РАН) на термокриокамере Linkam-TNMSG-600 (Англия); результаты интерпретировались по стандартным методикам. Газовая фаза ФВ исследована методом Рамановской спектроскопии в лаборатории G2R университета им. А. Пуанкаре (Нанси, Франция, аналитик Т. Lhomme) и в Институте геологии и минералогии СО РАН (Новосибирск, Россия) под руководством А.А. Боровикова и С.З. Смирнова.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА И МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Комсомольский оловорудный район, совпадающий в геологических границах с Мяо-Чанской вулканической зоной, сформированной в меловое время на западном крыле Сихотэ-Алинской складчатой области, рассмотрен в многочисленных публикациях, в том числе в ряде монографий [9, 15–17]. По этим данным, в основании зоны залегают юрские терригенные образования, перекрывающие погруженные блоки протерозойско-палеозойских метаморфитов Буреинского массива (рис. 1).

В плейт-тектонической концепции эта территория – фрагмент юрской аккреционной призмы – Баджалского террейна, причлененного в раннем мелу к восточной окраине Бурей-Ханкайского супертеррейна [7, 23, 24]. Образование аккреционной призмы, среди которых доминируют юрско-раннемеловые флишидные отложения, перекрыты позднемеловыми вулканогенно-осадочными породами и интродуцированы гранитоидами мяочанской магматической серии [9]. Последняя, рассмотренная В.Г. Гоневчуком [7] в качестве магматического элемента Комсомольской рудно-магматической системы, представлена тремя последовательными парагенетически связанными магматическими комплексами: пурильским, силинским и чал-

бинским, возраст которых оценивается в интервале от 120 до 75 млн лет. Каждый из комплексов специфичен в металлогеническом плане, и, в то же время, для каждого из них обнаруживаются признаки «оловоносности». Формирование промышленного оловянного оруденения генетически связано с эволюцией силинского габбро-монцодиорит-гранодиорит-гранитного комплекса, о чем наиболее убедительно свидетельствуют результаты исследования Солнечного месторождения. Именно здесь оловянная минерализация прослежена на глубину до уровня, на котором она непосредственно контактирует с гранитами рудоносного комплекса и закономерно приобретает признаки грейзенов.

На слабо эродированных участках территории рудного района сохранились покровы базальтов (возраст от 52 до 14 млн лет).

Солнечное месторождение наиболее полно, с учетом последних данных по геологии и рудоносности, рассмотрено нами ранее как пример месторождений турмалинового типа касситерит-силикатной формации [13]. Оно расположено в центральной части района, на участке пересечения близширотного Силинского и близмеридионального (рудовмещающего) Солнечного разломов. Площадь месторождения сложена флишидной толщей в различной степени ороговикованных алевролитов и песчаников среднеюрского возраста, прорванных гранитоидами силинского комплекса.

По нашему мнению [6, 7, 27], эти гранитоиды представляют три фазы комплекса. Ранняя фаза (98–95 млн лет) – дайкообразные тела кварцевых диоритовых порфиринов, приуроченные к близмеридиональной рудоносной структуре – зоне Главной. На глубине – в корневых частях рудной зоны – вскрыта интрузия монцогранитов-гранодиоритов второй фазы (94–92 млн лет), «срезающая», возможно с частичной ассимиляцией, дайки кварцевых диоритовых порфиринов. Заключительную фазу силинского комплекса (85–80 млн лет) на площади месторождения представляют подсеченные скважинами и стволом шахты Юбилейная дайки гранитовых аплитов с редким биотитом и иногда с турмалином.

РУДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В ИНТРУЗИИ МОНЦОГРАНИТОВ-ГРАНОДИОРИТОВ

Рудная минерализация Солнечного месторождения (особенности вещественного состава руд, характер метасоматического преобразования вмещающих пород, распределение в рудных минералах типоморфных элементов-примесей и другие вопросы) рассмотрена в двух коллективных монографиях [15, 16]. Изложенные в них материалы касались оловорудных тел зоны Главной, локализованных в терригенно-осадоч-

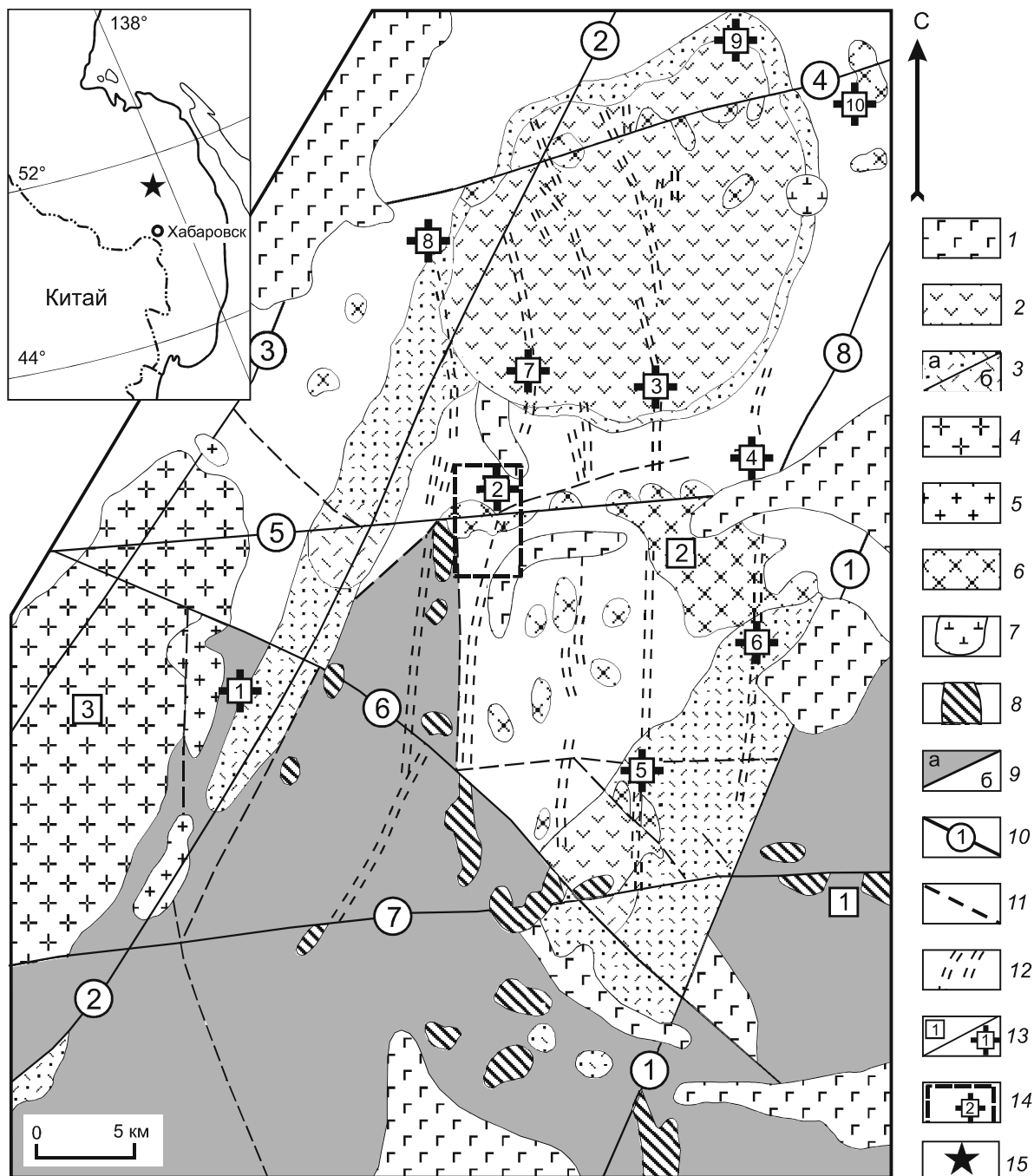


Рис. 1. Геолого-структурная схема Комсомольского оловорудного района (по [7], с изменениями и дополнениями).

1 – базальты неогеновые; 2 – эффузивы силинского комплекса. Амутская свита: андезиты и их туфы, трахи(?)риолиты, шошониты; 3 – холдаминская толща. Риолиты и их туфы: а – покровные, б – экструзивные; 4 – чалбинский комплекс. Граниты; 5–7 – силинский комплекс: 5 – пироксеновые (монцо) граниты, 6 – гранодиориты, граниты, 7 – габбро; 8 – интрузивная фация пурильского комплекса; 9 – породы аккреционно-осадочного комплекса: а – субокеанического (Южного и Восточного), б – субконтинентального; 10, 11 – разломы: 10 – главные (глубинные): 1 – Холдаминский, 2 – Кур-Мяочанский, 3 – Эльга-Гориканский, 4 – Лево-Хурмулинский, 5 – Силинский, 6 – Сектахский, 7 – Курмиджа-Пурильский, 8 – Хурмулинский, 11 – второстепенные; 12 – рудоконтролирующие структуры; 13 – а – интрузивные массивы: 1 – Пурильский, 2 – Силинский, 3 – Чалбинский; б – месторождения: 1 – Чалбинское, 2 – Солнечное, 3 – Перевальное, 4 – Придорожное, 5 – Фестивальное, 6 – Октябрьское, 7 – Озерное, 8 – Лунное, 9 – Соболиное, 10 – Ветвистое; 14 – площадь Солнечного месторождения; 15 – расположение месторождения на обзорной карте-врезке.

ных породах и диоритовых порфиритах даек. Позднее в апикальной части гранитоидной интрузии (рис. 2) скважиной 175 была вскрыта оловянная и редкоземельная минерализация в грейзенах, а скважиной 135 – глубинное продолжение зоны Главной в слабо грейзенизированных монцогранитах.

Состав и геохимические особенности вмещающих грейзены монцогранитов и гранодиоритов, подробно рассмотренные нами ранее, не оставляют сомнения в принадлежности их к Силинскому комплексу

[6, 7]. По минеральному составу они биотит-рогово-обманковые, иногда с пироксеном, а по петрохимическим параметрам соответствуют I-типу ильменитовой серии. Основным типоморфным признаком силинских гранитоидов – пониженное содержание натрия, обуславливающее относительную калиевость пород, и присутствие минеральных парагенезисов, характерных для монцонитов, – проявлен здесь вполне отчетливо. Признаком принадлежности гранитоидов интрузива к силинскому комплексу можно рассматривать

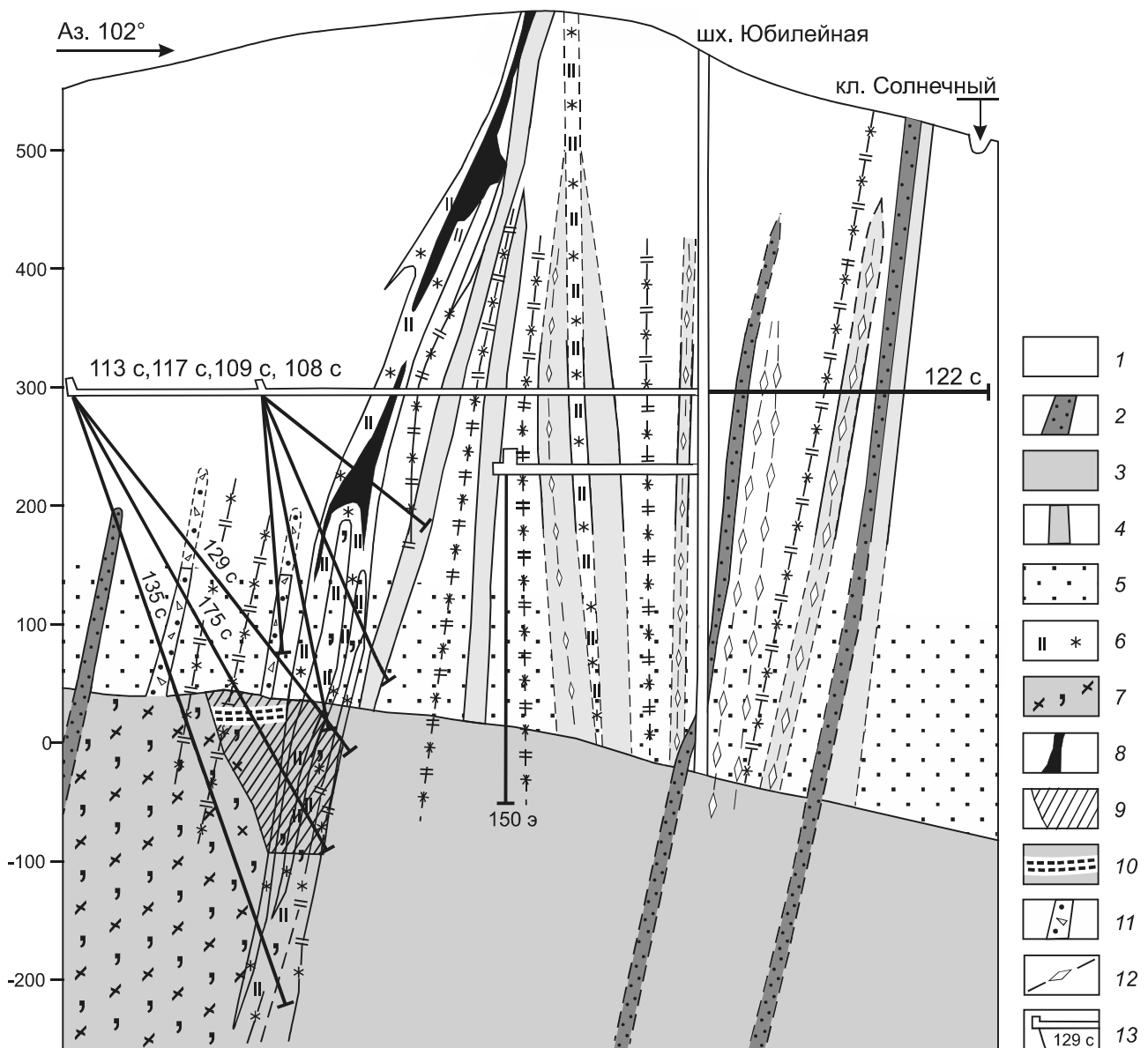


Рис. 2. Обобщенный разрез через рудную зону Главную.

1 – терригенно-осадочные породы; 2 – аплиты; 3 – монцограниты-гранодиориты; 4 – кварцевые диоритовые порфириты; 5 – ороговикование; 6 – кварц-турмалиновые жилы и прожилки; 7 – грейзенизированные граниты; 8 – оловорудные тела; 9 – грейзены по гранитам; 10 – зона Пологая; 11 – грейзенизированная брекчия по роговикам; 12 – кварц-полевошпатовые жилы и прожилки с молибденитом и шеелитом; 13 – горные выработки (скважины, штреки, шахта).

присутствие секущих их даек гранитовых аплитов, в том числе, турмалинсодержащих.

«Монзонитоидность» и восстановленность гранитоидов отчетливо фиксируются в их минеральном (ассоциация биотита с высокоосновным плагиоклазом и пироксеном, ильменит с содержанием ванадия до 14 % и др.) и химическом (высокая калиевоность, преобладание закисного железа и др.) составах, а также в распределении редких и редкоземельных элементов (табл. 1, 2). В соответствии с тематикой статьи отметим повышенные концентрации в гранитоидах суммы РЗЭ (205.21 г/т) с преобладанием легких лантаноидов и повышенные содержания как коровых (Rb, Sr, Ba, Zr), так и мантийных (Cr, V) элементов.

Расположенные над кровлей интрузива терригенно-осадочные породы (мелко- и среднезернистые песчаники, алевролиты) подверглись ороговиканию.

Таблица 1. Химический состав гранитоидов Солнечного месторождения.

	ВГ-805	38-135с	55-135	ВГ-702	1-175с	ВГ-811
SiO ₂	59.78	66.16	68.56	70.20	72.85	76.48
TiO ₂	0.57	0.50	0.65	0.32	0.31	0.31
Al ₂ O ₃	15.24	15.14	12.87	13.59	13.74	11.84
Fe ₂ O ₃	7.79	0.90	2.54	0.43	0.12	0.89
FeO	-	3.00	1.58	2.58	2.08	-
MnO	0.12	0.10	0.09	0.30	0.05	0.03
MgO	4.43	3.04	2.01	3.07	1.42	0.31
CaO	6.35	3.68	1.91	2.84	1.55	0.88
Na ₂ O	2.18	2.72	2.66	2.45	2.73	1.85
K ₂ O	2.25	3.99	5.12	3.78	4.90	6.22
P ₂ O ₅	0.10	-	0.12	-	-	0.07
п.п.п.	0.81	0.61	1.42	0.56	0.31	0.71
B*	88	80	>150	43	25	470
F	0.051	0.060	-	0.060	0.080	0.041
Cl	0.188	-	-	-	-	0.143
сумма	99.66	99.84	99.53	100.16	100.11	99.55

Примечание. Здесь и далее в таблицах оксиды – в % массы, элементы – в г/т; (*) – результаты количественного спектрального анализа; прочерк – не анализировалось, пропуск – ниже предела чувствительности метода. Пробы: ВГ-805 – диорит (ствол шахты Юбилейной), 38-135 – гранодиорит (скв. 135, глубина 442 м), 55-135 – гранодиорит (скв. 135, глубина 568 м), ВГ-702 – гранит (скв. 175, глубина 298 м), 1-175 – гранит (скв. 175, глубина 305 м), ВГ-811 – аплит (ствол шахты Юбилейной).

Интенсивность его увеличивается с приближением к контакту интрузивного тела от слабой биотитизации до образования биотитовых с кордиеритом роговиков, рассеченных прожилками кварца с ортоклазом, более крупным биотитом, молибденитом и редкими зернами касситерита. Эти породы интенсивно деформированы и иногда вмещают мелкие жилообразные тела флюидно-эксплозивных брекчий – частично осветленных обломков роговиков в кварц-турмалин-биоти-

Таблица 2. Элементы-примеси в гранитоидах Солнечного месторождения.

элементы пробы	ВГ-805	38-135с	55-135	ВГ-702	1-175с	ВГ-811
Rb	118	168	319	190	230	187
Sr	234	298	180	185	145	214
Ba	237	645	474	499	489	1176
Zr	119	185	148	157	168	136
Nb	8	14	9,8	9,7	9,6	8
Y	20	29	26	23	27	17
Ni	19	25	50	18	11	6
Co	15	15	15	10	5	2
Cr	112	130	130	74	63	19
V	163	220	160	91	110	16
Cu	11	24	100	32	9	17
Sn	7	10	10	55	27	47
Pb	20	20	8	54	25	31
Zn	77	71	26	66	40	35
Mo	1.40	4	2.70	1	2	3
Th	13.68	14.77	23.65	25.44	25.89	12.62
U	2.99	3.67	3.69	4.69	6.22	1.83
La	20.67	29.05	40.21	37.62	42.76	16.77
Ce	45.15	65.02	88.47	78.02	92.42	34.45
Pr	4.93	7.09	9.09	8.08	9.86	3.77
Nd	18.54	26.71	31.57	27.46	35.44	13.96
Sm	3.68	5.47	5.67	5.54	6.26	2.51
Eu	0.72	0.75	0.63	0.61	0.35	0.68
Gd	3.69	5.37	5.30	4.18	5.13	2.40
Tb	0.53	0.76	0.74	0.66	0.79	0.33
Dy	3.38	5.34	4.54	4.17	5.34	2.31
Ho	0.66	0.81	0.75	0.69	0.84	0.47
Er	2.02	2.56	2.57	2.22	2.70	1.49
Tm	0.25	0.38	0.36	0.33	0.40	0.18
Yb	1.98	2.51	2.71	2.03	2.56	1.53
Lu	0.27	0.37	0.33	0.28	0.36	0.18
сумма РЗЭ	106.47	152.18	192.94	171.89	205.21	81.53
La/Yb	10.40	11.13	14.89	18.53	16.70	10.96
Eu/Eu*	0.19	0.13	0.11	0.13	0.06	0.27
Th/U	4.57	4.08	4.15	5.42	4.16	4.45

Примечание. Анализ выполнен методом ICP-MS в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН.

товом цементе. Турмалин здесь, в отличие от кварц-турмалиновых метасоматитов, содержащих тонко-игольчатый турмалин, представлен темно-коричневыми эвгедральными зернами, размеры которых редко превышают 0.05 мм. Как видно на рисунке. 2, зонки подобных брекчий прослеживаются по восстанию до 100 м от кровли интрузива.

Рудная минерализация в интрузии гранитоидов представлена двумя типами. Первый из них фиксирует глубинное продолжение зоны Главной, а второй – основной – представлен оловоносными грейзенами (зона Пологая, рис. 2).

Зона Главная в гранодиоритах прослежена скважиной 135 в интервале абсолютных отметок от -150 до -240 м и представлена круто падающими прерывистыми прожилками, метасоматическими линзами, гнездами и вкрапленностью турмалинитов, слагающих зону горизонтальной мощностью около 50 м. Турмалиниты сопровождаются интенсивным окварцеванием, калишпатизацией, мусковитизацией и хлоритизацией интрузивных пород. На участках с повышенным содержанием мусковита (абсолютные отметки от -134 до -180 м) встречается вкрапленность касситерита в виде сростков тонко-призматических зерен. В основном же, рудная минерализация на этом участке зоны Главной представлена вкрапленностью, реже мелкими гнездами сульфидов, среди которых преобладают халькопирит, обогащенный кобальтом арсенопирит (глаукоdot с содержанием Co от 21.47 до 25.55 % мас. и данаит с содержанием Co 7.69 % мас.), а также пирротин с микровключениями кобальтина. В зернах арсенопирита иногда отмечается зональность, которая подчеркивается повышением содержания кобальта на переходе от центральной части зерна к внешней, где кобальтом замещается железо.

ОЛОВОНОСНЫЕ ГРЕЙЗЕНЫ

По результатам исследования скважин 129, 135 и 175 выделены грейзены жильные и объемные. Первые представлены маломощными (15–20 см) ветвящимися жилками мелкочешуйчатого мусковита, секущими массивные кварц-турмалиновые метасоматиты зоны Главной (скв. 129) или мусковит-турмалиновыми обособлениями (скв. 135) в ороговикованных породах над кровлей интрузива. В составе этих грейзенов касситерит крайне редок. В агрегатах мусковита присутствуют призматические зерна топаза (до 0.1 мм), зеленый флюорит и более поздний карбонат (анкерит), содержащий вкрапленность пирротина, пирита, марказита, галенита и сфалерита.

Объемные оловоносные грейзены локализованы в породах монцогранит-гранодиоритовой фазы интрузива (скв. 175, абсолютные отметки от +40 до

-70 м). Это – жильно-метасоматические образования, сформированные в зоне «просачивания» флюидов и, частично, приуроченные к пологим трещинам контракции. Макроскопически оловоносные грейзены – мелкозернистые светло-серые породы, в которых практически не сохранилась структура и состав первичных гранитов. Они сложены преимущественно кварцем, хлоритом, карбонатом, турмалином, мусковитом, флюоритом, апатитом, содержат вкрапленность касситерита и редко рассеяны хлорит-кварцевыми жилками и прожилками с касситеритом. На участках интенсивной хлоритизации грейзены приобретают зеленый оттенок, а в случае насыщения мелкими обломками и субмикроскопической вкрапленностью турмалина – темно-серый.

Участок наиболее интенсивного изменения гранитов в апикальной части интрузива, вскрытый скв. 175 на вертикальном интервале с отметками от +24 до +21 м (рис. 3, интервал 321–324 м), при разведке был выделен как самостоятельное рудное тело – зона Пологая. Одна из присутствующих здесь жил (мощность ~ 1 м) имеет асимметрично-зональное строение. В ле-

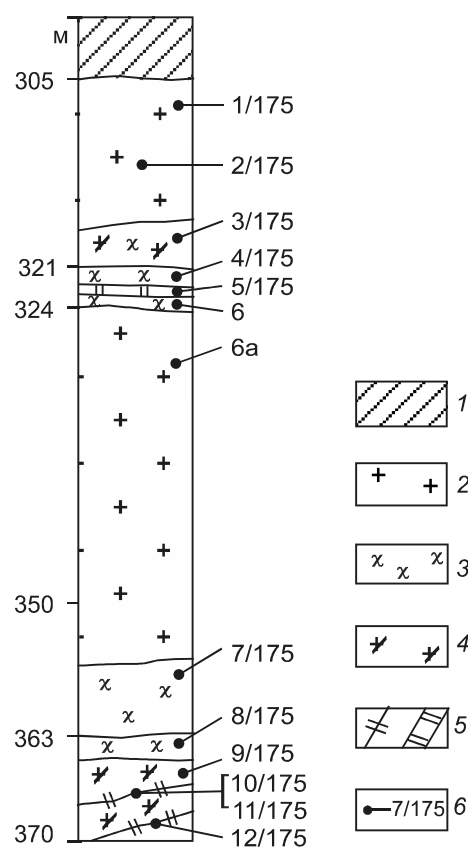


Рис. 3. Схематический разрез по скв. 175, интервал 305–370 м.

1 – роговик; 2 – грейзенизированный гранит; 3 – хлорит; 4 – турмалин; 5 – жилы и прожилки кварца с касситеритом; 6 – места отбора проб.

жачем боку ее доминирует молочно-белый сливной кварц с рассеянной вкрапленностью идиоморфных зерен касситерита; в осевой части (мощность от 3 до 5 см) обособляется почти мономинеральный касситерит, а в висячем боку – темно-зеленый хлорит с обильной вкрапленностью касситерита и редкой – магнетита, гематита и сульфидов (молибденит, галенит, сфалерит, пирротин и пирит). На глубину метасоматиты постепенно сменяются слабо измененными гранитами. Предполагается, что жилы и прожилки кварца с хлоритом и касситеритом приурочены здесь к пологим трещинам контракции в апикальной части интрузива. Касситерит в грейзенизированных гранитах, кроме того, приурочен к зальбандам прожилков кварца, обогащенным хлоритом и мусковитом, а на участках, лишенных прожилков, образует рассеянную вкрапленность в гнездах кварца с хлоритом и мусковитом. Содержание олова по скважине колеблется от 0.2 % мас. в грейзенизированных гранитах до 5.0 % мас. в жилах.

Микроскопическое изучение грейзенов показало, что они формируются при метасоматической переработке вмещающих гранитов. При этом на месте порфириновых и гломеропорфириновых сростков темноцветных минералов (биотит, роговая обманка и пироксен) образуются агрегаты хлорита, с которыми повсеместно ассоциируют карбонаты. Полевые шпаты, как порфириновых выделений, так и основной массы, почти полностью замещаются агрегатами кварца, серицита и карбоната. Иногда появляется новообразованный ортоклаз. Кроме того, грейзены содержат рассеянный тонкоиглольчатый турмалин (рис. 4). Возможно, этот турмалин является продуктом перекристаллизации существовавших ранее в граните прожилков турмалинита. В качестве реликтов в грейзенах сохраняются пластинки биотита, агрегаты магматического кварца, иногда насыщенного иголочками рутила (типа «волосатика»), ильменита и продуктов его замещения – рутила, магнетита, брукита, сфена и лейкоксена, а также присутствуют включения новообразованных апатита, флюорита и реже топаза.

По составу примесей грейзены существенно отличаются от исходных гранитоидов (табл. 2, 3): в большинстве из них заметно уменьшается концентрация как коровых, так и мантийных элементов, резко возрастает – REE, U и Th, а в отдельных пробах также W, Mo, Zn.

Важнейший и наиболее распространенный рудный минерал грейзенов – касситерит, представлен сростками короткопризматических кристаллов, окрашенных в темно-коричневый до черного цвет. Отдельные зерна касситерита имеют размер от долей мм до 3 мм (рис. 5). Химическим анализом в касситерите

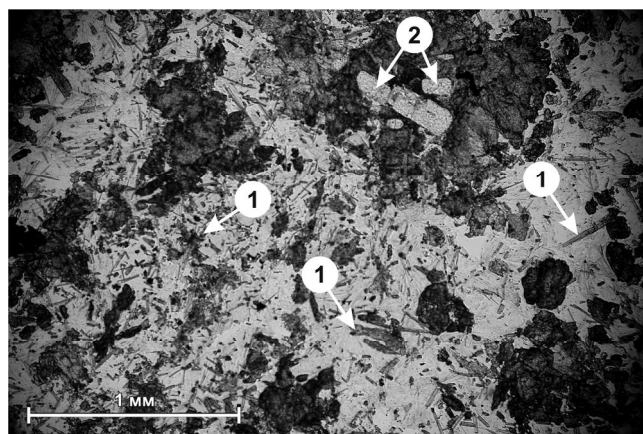


Рис. 4. Кварц (светло-серое) с включениями тонкоиглольчатого турмалина (1).

Рельефные темно-серые агрегаты – гнезда хлорита с карбонатом и призматическими зернами апатита (2). Прозр. шлиф, ник. ||.

грейзенов установлены (% мас.): Sc – 0.015; In – 0.02; Ti – 0.080; Fe – 0.90; W – 0.02; Nb – 0.01 (аналитик В.Н. Залевская, ДВГИ), что на порядок выше, чем в касситерите зоны Главной. Иногда в касситерите наблюдаются субмикроскопические включения (0.001 мм и менее). По данным рентгеноспектрального микроанализа, большинство из них представлено рутилом, реже апатитом.

В нерудной ассоциации доминирует *кварц*, представленный неравномернозернистыми агрегатами гранобластовой структуры. Иногда в нем присутствуют реликтовые пластинки биотита и скопления мелкочешуйчатого серицита, новообразованные минералы.

Широко распространенным минералом грейзенов является *хлорит*, по данным ИКС и рентгеноспектрального микроанализа относящийся к магнезиально-железистому тюрингиту (Fe – 27.8; Mg – 3.61–4.48). Он представлен радиально-лучистой, реже мелкочешуйчатой разновидностями, является продуктом замещения биотита и других темноцветных минералов и сохраняет заключенные в них зерна алланита с оторочками торита, пластинчатые выделения магнетита (скорее всего продукта замещения синмагматического ильменита), а также новообразованные зерна апатита (рис. 4).

С хлоритом тесно ассоциируют *карбонаты*, представленные преимущественно высокожелезистым анкеритом (Fe – 37.60; Mg – 3.08; Mn – 1.97; Ca – 0.58 % мас.). Значительно реже, в виде тонких, секущих грейзены прожилков, встречается кальцит. Результаты ИКС показали, что этот кальцит обогащен железом и марганцем в результате замещения обогащенного марганцем анкерита.

Таблица 3. Распределение элементов-примесей в грейзенах.

Элементы	пробы					
	1-175с	7-175	9-175	11-175	12-175	6-175
Rb	230	211	5.1	42	12	180
Sr	145	56	33	57	30	137
Ba	489	177	27	59	43	364
Zr	168	78	92	73	54	47
Hf	-	3.2	3.6	2.6	1.8	1.8
Nb	9.6	9.3	5.4	11	2.6	9.2
Y	27	17	34	30	38	16
Ti	-	1334	-	-	-	1663
Mn	-	1713	-	-	-	352
Ni	11	5.5	47	18	33	5.3
Co	5	1.9	14	7	7.3	5.2
V	110	36	142	64	78	60
Cr	63	39	-	-	-	29
Cu	9	50	56	111	63	27
Pb	25	32	8.7	13	7.8	23
Zn	40	139	273	173	130	125
W	-	11	6.6	11	9.4	0.9
Mo	2	0.43	16.00	2.50	2.20	0.24
Bi	-	1.80	0.66	0.89	0.24	1.70
Th	25.89	78	70	40	44	16
U	6.22	18	16	9.6	6.8	5.1
La	42.76	145	24	106	132	12
Ce	92.42	320	67	175	215	29
Pr	9.86	34	6.1	15	18	3.3
Nd	35.44	119	18	58	68	13
Sm	6.26	18	8.3	15	18	2.9
Eu	0.35	1.2	0.78	1.72	3.2	0.55
Gd	5.13	14.00	6.30	9.80	13.00	2.90
Tb	0.79	1.20	1<0	1.30	1.80	0.45
Dy	5.34	4.50	5.20	5.09	7.2	2.9
Ho	0.84	0.66	1.00	0.92	1.20	0.57
Er	2.70	1.90	2.70	2.60	2.80	1.80
Tm	0.40	0.22	0.38	0.34	0.31	0.28
Yb	2.56	1.60	2.20	2.30	2.00	1.90
Lu	0.36	0.22	0.30	0.32	0.26	0.28
Сумма РЗЭ	205.21	662.30	143.26	391.94	482.77	71.83
La/Yb	16.70	90.00	10.00	46.00	66.00	6.32
Eu/Eu*	0.06	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03
Th/U	4.16	4.33	4.10	4.30	6.47	3.13

Примечание. Анализ выполнен методом ICP-MSP в ИГЕМ РАН; пробы 1-175 – гранит, пробы 7-175 – грейзенизированный гранит, 9-175 – грейзенизированный гранит с прожилками кварца с касситеритом, 11-175 – грейзенизированный гранит с прожилками кварца с турмалином, 12-175 – контакт кварцевого грейзена с вкрапленностью касситерита и грейзена, насыщенного тонкоигольчатым турмалином, 6-175 – касситерит-кварцевая руда.

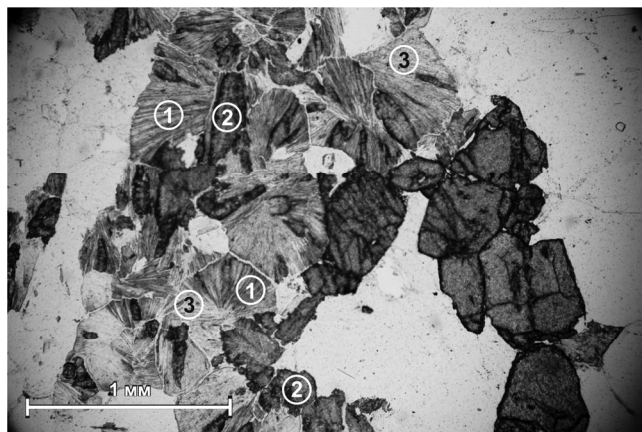


Рис. 5. Кварц-хлорит-касситеритовая руда.

Темносерое, рельефное – касситерит, хлорит (1), карбонат (2), мусковит (3). Прозрачный шлиф, николи ||.

Мусковит, хотя и не широко распространен в исследуемых грейзенах, однако весьма показателен при их идентификации. Он образуется позднее хлорита и обычно замещает его, формируя лучистые или радиально-лучистые псевдоморфные агрегаты (рис. 5). Микронзондовый анализ показал в мусковите устойчивые содержания К (8.35–8.55 % мас.) и Fe (1.22–1.38 % мас.). Характерно, что максимальные количества касситерита приурочены к участкам грейзенов с повышенным содержанием мусковита. В скв. 129, которая пересекает зону Главную, была установлена серия секущих турмалиниты жилков кварц-мусковитового состава с зеленым флюоритом и топазом. Изотопный (К-Аг) возраст этого мусковита – 85.3 ± 1.8 млн лет (Лаборатория изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН) – близок возрасту основной оловянной минерализации [25]. Аналогичные зонки мусковитовых грейзенов встречаются также в турмалинизированных роговиках выше кровли гранитов в скв. 135.

Апатит в грейзенах распространен шире, чем в магматических породах. В виде призматических зерен размером 1–3 мм он постоянно присутствует в карбонатно-хлоритовых и существенно хлоритовых агрегатах (рис. 4, 6). Возможно, в грейзенах происходит не только перекристаллизация апатита, но и новообразование его в связи с привнесением фосфора и фтора грейзенообразующими растворами. Этот вывод напрашивается в связи с обнаружением включений апатита в касситерите. Результаты микроанализа показывают, что апатит (в том числе микровключения в касситерите) относится к фторапатитам с незначительной примесью хлора (до 0.76 % мас.) и содержанием Се до 0.66 % мас.

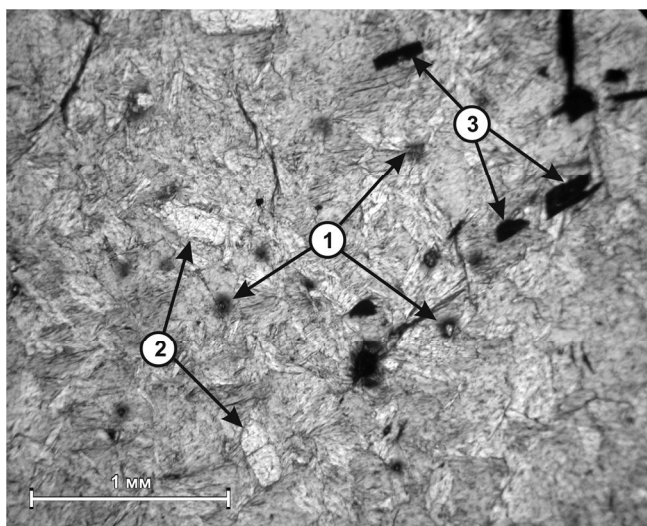


Рис. 6. Хлорит с включениями алланита (1), зернами новообразованного апатита (2) и пластинками магнетита по ильмениту (3).

Прозрачный шлиф, николи ||.

Ильменит и рутил – широко распространенные минералы магматических пород и образованных по ним грейзенов. В отдельных случаях пластинки ильменита сохраняются в грейзенах в неизменном виде, но чаще преобразуются в магнетит с незначительной примесью титана и, в основном, в рутил, реже, анатаз и брукит.

Рутил встречается в виде двух разновозрастных генераций. Рутил I – синмагматический – образует скопления тонкопризматических кристаллов в кварце гранитов, придавая ему структуру «кварца-волосатика».

Рутил II наблюдался в протолочках грейзенов в виде красноватых призматических кристаллов, чаще зерен неправильной формы размером не более 0.25 мм. Иногда встречается в ассоциации с касситеритом. Рутил II обычно содержит незначительную (1–2 % мас.) примесь Sn, W, Nb. Изредка (рис. 7) содержание W в нем повышается до 6 % мас.

Редкоземельные минералы грейзенов и гранитов представлены главным образом алланитом и фторкарбонатами – бастнезитом и паризитом. Крайне редко в ассоциации с ними встречаются монацит и ксенотим.

Монацит и ксенотим были обнаружены в прозрачных шлифах как в гранитах, так и в грейзенах в виде таблитчатых высокодвупреломляющих зерен размером не более 0.01 мм. Рентгеноспектральным микроанализом установлено, что монацит относится к Ce-Nd разновидности и иногда содержит повышенные концентрации Th. В составе ксенотима преобладает Y с примесью тяжелых лантаноидов (табл. 4).

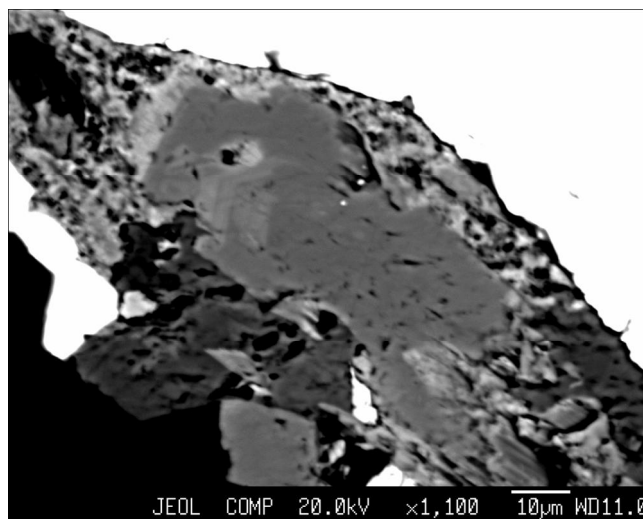


Рис. 7. Корродированное зерно рутила II (серое), внутри и вокруг которого в кварце развиваются обособления повышенных содержаний вольфрама (светло-серое).

Черное – кварц. Белое – касситерит. Снимок в отраженных электронах.

Алланит в магматических породах наблюдается в биотите в виде микровключений, окруженных черными оторочками – продуктами воздействия заключенных в нем радиоактивных элементов. В монофракциях зерна алланита смоляно-черные, короткопризматические, реже кубические, размером от 0,001 до 0.3 мм. Иногда они покрыты охристыми пленками, в которых, по данным ИКС, отмечаются пластинки бастнезита. Под микроскопом алланит гранитов отчетливо плеохроирует в розовых цветах, а в хлорите грейзенов (рис. 6) – бесцветный без признаков плеохроизма. Рентгеноспектральным микроанализом установлено, что алланит относится к Th разновидности (табл. 4). При грейзенизации он замещается фторкарбонатами – *бастнезитом*, *паризитом* и гидроксидом РЗЭ (табл. 5), которые при наблюдении в отраженных электронах выглядят подобно полисинтетически сдвойникованным агрегатам (рис. 8, 9). С фторкарбонатами ассоциируют касситерит и торит.

В составе фторкарбонатов РЗЭ (табл. 5) отмечаются повышенные концентрации Nd и Th, а также присутствует примесь Y и Gd. В препаратах фторкарбонатов РЗЭ, напыленных Au, рентгеноспектральным микроанализом установлен углерод и видно преобладание паризита (табл. 6), как минерала, непосредственно заимствующего кальций из алланита. Бастнезит, как более фтористый минерал, скорее всего, развивается по паризиту (рис. 9 а, б).

Торит и ураноторит – редкие минералы. Они обнаружены в ассоциации с фторкарбонатами и кас-

Таблица 4. Состав редкоземельных минералов (% мас.).

	1	2	3	4	5	6	7
La ₂ O ₃	11.51	12.05	13.20	-	6.15	7.22	6.67
Ce ₂ O ₃	25.99	25.27	27.5	-	11.53	12.63	12.97
Pr ₂ O ₃	3.44	3.17	2.61	-	1.03	0.94	1.05
Nd ₂ O ₃	12.46	12.33	12.68	-	2.54	2.55	2.36
Sm ₂ O ₃	2.19	2.61	2.41	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	-	41.36	-	-	-
Gd ₂ O ₃	1.72	2.03	1.50	2.05	-	-	-
Dy ₂ O ₃				5.05			
Ho ₂ O ₃				1.19			
Er ₂ O ₃				3.94			
Yb ₂ O ₃				3.43			
ThO ₂	4.55	-	-	-	2.43	2.10	2.71
P ₂ O ₅	27.12	27.97	27.14	34.28	-	-	-
SiO ₂	0.88	2.08	2.17	1.9	28.76	28.51	28.68
TiO ₂	-	-	3.10	-	1.91	1.89	1.59
Al ₂ O ₃		1.18	1.47	-	11.64	11.88	12.03
Fe ₂ O ₃	1.52	2.58	2.91	-	12.14	15.69	15.57
MgO	-	-	-	-	1.10	1.44	1.48
CaO	1.71	0.64	0.52	-	8.85	9.09	9.46
K ₂ O				-	1.06		
Сумма	93.17	91.91	96.18	93.20	88.55	92.04	93.53

Примечание. Пробы 1, 2 – обр. 6/175, 3 – обр. 5/175 (монацит), 4 – обр. 50/125 (ксенотим), 5 – обр. 38/135, 6 – обр. 5/175, 7 – обр. 11/175 (алланит).

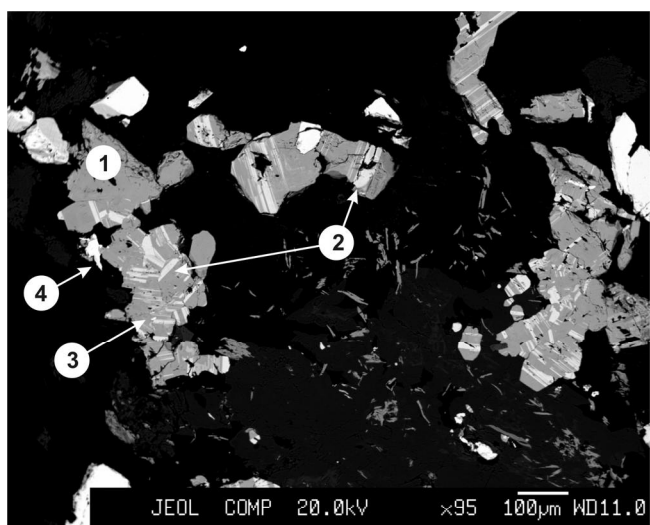


Рис. 8. Замещение зерен алланита (1) фторкарбонатами РЗЭ – бастнезитом (2) и паразитом (3); 4 – зерно торита. Белое – касситерит, черное – кварц, в котором рассеяны иголки рутила. Снимок в отраженных электронах.

ситеритом грейзенов при рентгеноспектральном микроанализе редкоземельных минералов (рис. 8). По составу это хаттонит с переменным содержанием урана и незначительной примесью чералитовой молекулы (табл. 7). В качестве постоянной примеси в этих минералах присутствует иттрий.

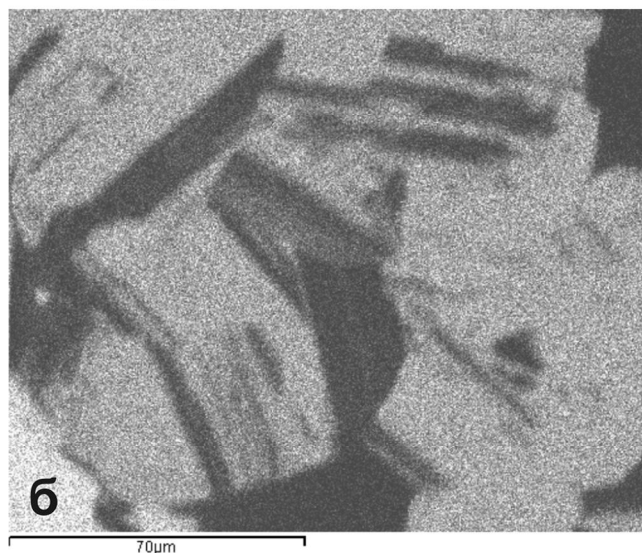
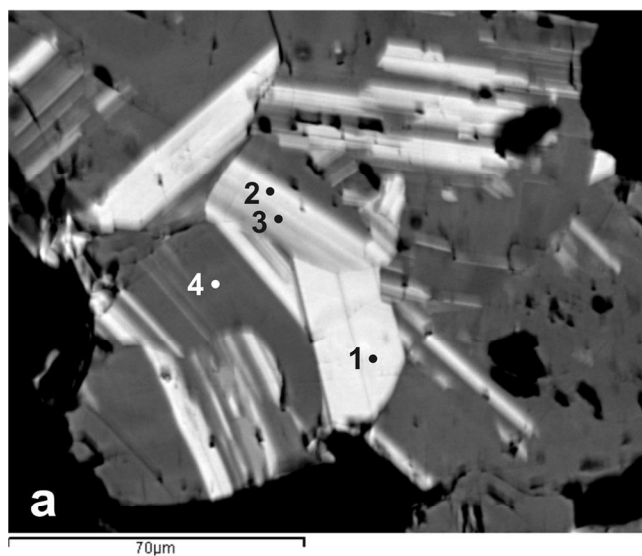


Рис. 9. а – алланит (темносерое в правой части рисунка) замещается агрегатом пластинчатых зерен бастнезита (1), паразита (4) и промежуточных разновидностей (2, 3). Снимок в отраженных электронах; б – распределение кальция. Снимок в рентгеновских лучах (Са К α). Цифры на рис. 9 а соответствуют номерам анализов в табл. 6.

Формирование грейзенов завершилось отложением небольшого количества сульфидов, среди которых преобладает пирротин, подвергшийся гипогенной дисульфидизации – замещению пирритом и марказитом в субграфическом срастании с магнетитом. Значительно реже встречается мелкая вкрапленность халькопирита (иногда в срастании с пирротинном) и сфалерита с оторочками станнина. Характерно, что в грейзенах зоны Пологой, в отличие от зоны Главной, отсутствует арсенопирит, а сульфиды отлагались только в ассоциации с карбонатами.

Таблица 5. Состав фторкарбонатов РЗЭ (% мас.).

	1	2	3	4	5	6	7	8
Ce ₂ O ₃	26.76	28.02	33.72	23.38	20.67	14.6	19.66	19.93
La ₂ O ₃	13.91	16.41	20.61	10.88	10.59	6.54	9.64	9.66
Pr ₂ O ₃	3.09	2.50	2.95	3.04	1.48	-	1.65	2.54
Nd ₂ O ₃	11.45	10.52	7.25	12.67	9.83	8.58	9.44	8.33
Sm ₂ O ₃	1.63	1.62	-	2.75	1.43	2.04	1.62	1.60
Y ₂ O ₃	1.36	1.97	-	-	1.31	2.71	2.51	-
Gd ₂ O ₃	1.60	1.54	-	0.86	-	1.79	-	1.08
Dy ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	1.06
ThO ₂	5.73	2.89	2.29	0.93	7.49	7.95	2.74	1.36
Fe ₂ O ₃	1.17	1.03	-	1.59	3.10	1.28	1.35	-
CaO	2.05	1.35	0.55	9.94	7.68	17.36	15.79	-
F	6.63	4.00	6.75	3.51	7.02	4.10	5.67	-
Сумма	68.73	67.94	67.38	66.98	64.63	62.85	67.94	64.50

Примечание. Пробы 1–3 близки по составу бастнезиту; пробы 4–7 близки паризиту; проба 8 – гидроксиду РЗЭ.

Таблица 6. Составы бастнезита, паризита и переходных разновидностей фторкарбонатов РЗЭ (% мас.).

	C	O	F	Ca	La	Ce	Pr	Nd	Th	Сумма
1	9.53	22.78	8.79	0.27	18.08	30.26	2.06	5.99	1.91	99.66
2	9.53	22.23	7.86	1.73	18.78	30.37	2.10	5.40	2.77	100.77
3	9.69	23.63	8.00	3.81	15.71	28.42	2.23	6.18	2.26	99.94
4	8.29	25.60	3.85	12.55	9.81	20.78	1.62	6.25	2.38	91.32

Примечание. Обр. – 11/175.

Таблица 7. Состав торита и ураноторита (% мас.).

	ThO ₂	U ₃ O ₈	Y ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Сумма
1	62.18	6.67	1.94	2.98	14.34	2.38	0.84	-	90.78
2	52.41	19.86	-	1.07	15.12	2.73	0.59	-	91.18
3	36.54	23.98	3.08	3.66	14.12	2.82	-	0.93	85.13

Примечание. Пробы 1 – обр. 11/175; 2, 3, – 5/175.

Температуры, состав и состояние флюидов при формировании грейзенов.

Свойства флюидных систем при формировании грейзеновой минерализации Солнечного месторождения были установлены путем изучения флюидных включений (ФВ) в кварце различных участков корневых частей месторождения (рис. 2). В зоне Пологой (скв. 175) были отобраны образцы в интервале абсолютных отметок от +40 до -50 м и в зоне Главной (скв. 135) – в интервале отметок от -150 до -240 м.

При исследовании кварца из грейзенов в нем были обнаружены расплавные (РВ) и флюидные (ФВ) включения. РВ содержат изотропные, анизотропные фазы и газовый пузырек шарообразной формы, свидетельствующий о присутствии водного раствора. Среди дочерних минералов диагностированы мусковит, калиевый полевой шпат, гранат. Установлена также

изотропная фаза, сходная по химическому составу со стеклом.

ФВ имеют различный фазовый состав: 1 – многофазные, с изотропными и анизотропными твердыми фазами, 2 – двухфазные (газ+раствор) и 3 – однофазные газовые (иногда с небольшим количеством раствора). Вокруг газовых ФВ наблюдаются ореолы мельчайших также газовых ФВ, свидетельствующих о значительном, возможно резком, понижении давления после отложения кварца. В минералообразующем процессе участвовали главным образом высокотемпературные, высокосолёные (Ca, Mg, Na)-хлоридные флюиды ($T_{\text{гом}} = 480\text{--}430\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{эвт}} = -70\text{ до } -57\text{ }^{\circ}\text{C}$; $C = 57\text{--}51\text{ мас. \%}$, экв. NaCl). Газовый флюид и менее солёные, относительно низкотемпературные Na-хлоридные флюиды ($T_{\text{гом}} = 360\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{эвт}} = -32\text{ до } -28\text{ }^{\circ}\text{C}$; $C = 9\text{--}15\text{ мас. \%}$, экв. NaCl) играли подчиненную роль. Газовая фаза флюидов была преимуще-

ственно водной и содержала небольшое количество углекислоты.

В корневых частях зоны Главной (скв. 135) кварц содержит: 1 – многофазные водно-солевые ФВ; 2 – трехфазные ФВ с твердой фазой и сингенетичные с ними газовые ФВ, свидетельствующие о захвате несмешиваемых флюидов; 3 – газовые ФВ и двухфазные ФВ с различным соотношением фаз ($T_{\text{гом}} = 448\text{--}256\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{эвт}} = -72\text{ до } -24\text{ }^{\circ}\text{C}$). В минералообразовании принимали участие флюиды с разной концентрацией (экв. NaCl) солей: 1 – газовый флюид (10–6 мас. %); 2 – несмешиваемые Na-хлоридный рассол (46–49 мас. %) и газовый флюид того же состава (16–17 мас. %); 3 – (Mg-Na- Ca)-хлоридные рассолы (34–49 мас. %) и 4 – гомогенные гидротермальные Na-хлоридные флюиды (в среднем около 5 мас. %). В газовой фазе флюидов преобладала CO_2 и присутствовал метан (до 22 мол. %). Рамановской спектроскопией в одном из ФВ были обнаружены молекулярные водород и кислород (4.2 и 6.8 мол. %, соответственно).

Минералообразующая система при отложении касситерита в зоне Пологой была гомогенна. На связь рудообразующих флюидов с магматизмом указывает присутствие расплавных включений и значительное преобладание ФВ, захвативших высокосоленные флюиды. Общая картина соответствует условиям минералообразования в трещинах контракции. Состав и свойства флюидов отвечают модели эволюции расплава и флюидов в заключительный период кристаллизации гранитного магматического очага [26].

В корневой части зоны Главной рудообразование происходило в условиях активной пульсационной циркуляции гетерогенных гидротермальных флюидов. Область минералообразования, которую характеризуют изученные образцы, вероятно, была значительно удалена от остаточного очага, являвшегося источником флюидов.

Таким образом, флюидные системы в грейзенах зоны Пологой и в корневых частях зоны Главной месторождения Солнечного были существенно различны. Различным оказывается и давление, характерное для высокосоленных растворов. Расчетные данные показывают, что для корневых частей зоны Главной давление варьировало от $> 3000\text{--}2100$ до 220 бар и ниже (для промышленных руд $P = 220\text{--}230$ бар). В то же время, кристаллизация оловоносных грейзенов зоны Пологая происходила при давлении не выше 1800 бар.

Несомненное влияние на особенности метасоматического изменения вмещающих пород и рудообразование оказало присутствие в составе рудоносного флюида H_2 и O_2 , обнаруженных в газовой фазе ФВ зоны Главной. Известно, что они отмечаются совместно в составе ФВ на урановых месторождениях, где

являются продуктами радиолиза воды, углекислоты или органического вещества под действием радиоактивного излучения [1, 28]. Появление продуктов радиолиза в газовом составе флюидов, формировавших минерализацию зоны Главной, обусловлено повышенным содержанием U и Th в составе флюидов за счет алланита монцогранитов. Хотя H_2 и O_2 во включениях из грейзенов не определялись, однако вполне возможны, так как в них установлены более высокие, чем в монцогранитах, концентрации U и Th (табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотренные материалы показывают наличие на глубине Солнечного месторождения в интрузии монцогранитов-гранодиоритов, по крайней мере, двух типов минерализации. Первый из них (скв. 135) представлен турмалинитами с убогим содержанием олова и сульфидной минерализацией. Он аналогичен безрудным на олово корневых частям основной на месторождении оловорудной зоны Главной. Это подтверждает продолжение рудоносной структуры в гранодиоритах на значительную глубину (абсолютные отметки от -150 до -240 м и ниже). Второй, богатый оловом, представлен грейзенами, под которыми мы понимаем сформированные по гранитоидам повышенной основности мусковит-флюорит-турмалин-хлорит-карбонатно-кварцевые метасоматиты (абсолютные отметки от +40 до -50 м). Подобные образования ранее были изучены в сильно эродированном интрузиве биотит-роговообманковых с пироксеном монцогранитов в юго-западной части Комсомольского района [5, 8]. Не исключено, что, как и на Солнечном месторождении, богатые оловом руды здесь располагались в апикальной части интрузива и в настоящее время разрушены эрозией.

Необычность состава грейзенов (обилие железистого и магнезиально-железистого хлорита, карбоната, турмалина) определяется исходным составом вмещающих гранитоидов, обогащенных Fe, Mg, Ca, B и Mn (табл. 1). Грейзены подобного состава описаны в литературе [18] и наблюдались, в том числе авторами, в других рудных районах, например, на Чукотке [11] и в Хингано-Олонойском рудном районе, где вмещающими породами являются риолиты, гранит-порфиры, редко дациандезиты. Богатые оловом кварц-серицит-флюорит-хлоритовые рудные тела Хинганского месторождения на глубине сменяются флюорит-мусковит-топазовыми грейзенами [12]. По данным Е.Я. Сиянова [20], в расположенных вблизи от Хинганского Центрального и Березовском грейзеновых оловорудных месторождениях состав грейзенов резко различается. В первом из них они представлены кварцем, хлоритом и серицитом, а во втором – серицит-кварце-

выми, топаз-серицит-кварцевыми и топаз-турмалин-серицит-кварцевыми с хлоритом метасоматитами.

Размещение грейзенов в самой южной части Центрального участка Солнечного месторождения вполне объяснимо и весьма показательно: именно здесь, в зоне влияния Силинского широтного разлома, наиболее интенсивно проявились заключительные – гранитные фазы становления силинского магматического комплекса.

Морфологически зона грейзенов представляет объемное тело (зона Пологая) с прожилково-вкрапленной, реже жильной оловянной минерализацией. Пространственно она близка к наиболее глубоко расположенным бедным оловянными рудам зоны Главной Солнечного месторождения (рис. 2).

Заклученные в грейзенах Солнечного месторождения редкоземельные минералы – синмагматические алланит, монацит и ксенотим и образованные в процессе грейзенизации фторкарбонаты РЗЭ – представляют определенный генетический интерес. В частности, при грейзенизации, по сравнению с магматическими породами, распределение РЗЭ почти не меняется, но значительно увеличивается их концентрация, прежде всего, за счет увеличения в грейзенах доли легких РЗЭ (рис. 10 а, б). Это может указывать на единство источника гранитоидных расплавов и рудообразующих флюидов, которые на раннем (грейзенизация) этапе транспортировали Sn и РЗЭ, а на позднем (гидротермальном) – олово и сопутствующие ему в рудах «сульфидные» компоненты. Фторкарбонаты РЗЭ в грейзенах являются не только продуктом замещения алланита [19], но и непосредственным продук-

том процесса рудообразования. Впрочем, крупных скоплений редкоземельных минералов на Солнечном месторождении вряд ли следует ожидать, хотя суммарные концентрации РЗЭ исходных гранитоидов близки к таковым для месторождений РЗЭ. Скорее всего, они «разубожены» мощным процессом турмалинизации, при котором сохраняются лишь реликты редкоземельных минералов [3].

Установленные при термобарометрических исследованиях более высокие параметры (температура, давление и концентрация растворов) формирования грейзенов по сравнению с аналогичными параметрами образования оловоносных метасоматитов главного – касситерит-турмалинового – этапа, а также присутствие в них расплавных включений могут указывать на тесную генетическую связь грейзенов с заключительным (гранитным) периодом эволюции магматического очага.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные материалы по составу и условиям образования касситеритсодержащих грейзенов, вскрытых в корневой части Солнечного оловорудного месторождения в апикальной части интрузива монцогранитов-гранодиоритов (К-Аг возраст 92–95 млн лет), позволяют считать их производными этой интрузии. Об этом свидетельствуют (кроме пространственной приуроченности) возраст грейзенов (К-Аг по мусковиту – 85.3 ± 1.8 млн лет), близкий времени формирования касситерит-турмалиновой минерализации главного этапа (Rb-Sr по кварцу и полевому шпату – 84 ± 1 млн лет [25]) и внедрения лейкогра-

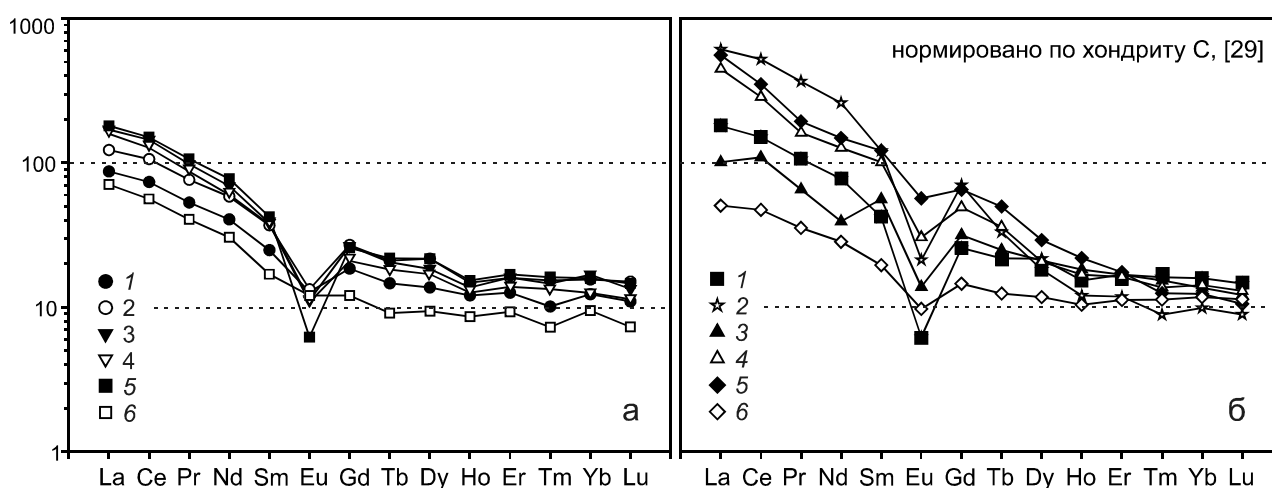


Рис. 10. Распределение РЗЭ (а) в гранитоидах (диориты – гранодиориты – граниты, табл. 2) и (б) грейзенах (табл. 3) Солнечного месторождения.

Номера точек на диаграммах: а – [1 – ВГ-805; 2 – 38-135; 3 – 55-135; 4 – ВГ-702; 5 – 1-175; 6 – ВГ-811]; б – [1 – 9-175; 2 – 11-175; 3 – 12-175; 4 – 6-175; 5 – 7-175; 6 – 1-175с.].

нитов заключительной фазы интрузивного массива (85–80 млн лет).

«Аномальный» состав грейзенов, в которых наряду с собственно грейзеновыми минералами (мусковит, апатит, турмалин, топаз, флюорит) в значительном количестве присутствуют железисто-магнезиальный хлорит и карбонаты, отражает генетическую связь их с «гранитоидами повышенной основности» – монцониитоидами, обогащенными Fe, Mg, Ca, K, B, F. Ассоциирующие с касситеритом фторкарбонаты РЗЭ, торит и ураноторит, являются производными как рудоносных растворов, так и разложившегося под их влиянием, широко распространенного в гранитоидах алланита.

Состав флюидных включений в кварце грейзенов показывает, что в минералообразовании в разное время участвовали газовый флюид, рассолы и, в меньшей степени, гидротермальный гомогенный флюид. Температура флюидов варьировала в интервале 480–300 °С, концентрация – от 57 до 9 мас. %, экв. NaCl, а давление – 3000–1800 бар, что значительно выше установленного для промышленной оловянной минерализации (максимальная температура 378–360 °С, концентрация растворов 34.9 вес. %, экв. NaCl и давление 220–230 бар).

Состав изученных грейзенов Солнечного месторождения близок составу руд интенсивно эродированной зоны Поисковой Чалбинского месторождения, залегающей в терригенных породах и силинских гранитах и сопровождаемой ореолами рассеяния РЗЭ, Th, Sn и W, связанными с шлиховыми ореолами алланита, частично замещенного фторкарбонатами РЗЭ. Эта особенность, а также аналогичность значений изотопного возраста (ок. 85 млн лет.) позволяют судить о близости условий их образования.

Пример Солнечного месторождения – типового объекта касситерит-силикатно-сульфидной формации – показывает, что появление грейзенов в эволюции продуцирующих такую минерализацию рудно-магматических систем, вероятно, не было одноактным и происходило как самостоятельная стадия (фаза) в заключительный период становления монцогранитов (зона Пологая) и как фация более позднего, связанного с остаточным магматическим очагом, рудообразования (зона Главная). Эта особенность объясняет появление на подобных месторождениях грейзенов, поздних по отношению к гидротермальной касситерит-сульфидной минерализации [12, 14, 22].

Работа выполнена при частичной поддержке грантов: проект РФФИ «ОФИ М» № 13-05-12043 и проект ДВО РАН №15-1-2-003о.

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.
- Бортников Н.С., Ханчук А.И., Крылова Т.Л., Аникина Е.Ю. и др. Геохимия минералообразующих флюидов некоторых оловорудных гидротермальных систем Сихоте-Алиня (Дальний Восток, Приморье и Приамурье) // Геология руд. месторождений. 2005. Т. 47, № 6. С. 537–570.
- Бортников Н.С., Гореликова Н.В. Гоневчук В.Г., Коростелев П.Г. Редкоземельные элементы в турмалине и хлорите оловорудных ассоциаций: факторы, контролирующие фракционирование РЗЭ в гидротермальных системах // Геология руд. месторождений. 2008. Т. 30, № 6. С. 307–326.
- Геология оловорудных месторождений / Гл. ред. С.Ф. Лугов. М.: Недра, 1986. Т. 1. 332 с.
- Гоневчук В.Г., Гоневчук Г.А. Особенности состава высокотемпературных метасоматитов Комсомольского оловорудного района // Минералогия и геохимия оловорудных месторождений. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 26–35.
- Гоневчук В.Г., Гоневчук Г.А. Коростелев П.Г. Граниты Солнечного месторождения // Геология руд. месторождений. 1984. С. 45–52.
- Гоневчук В.Г. Оловоносные системы Дальнего Востока: магматизм и рудогенез. Владивосток: Дальнаука, 2002. 298 с.
- Гоневчук Г.А., Гоневчук В.Г. Гетерогенность и полихронность Чалбинского гранитоидного массива (Комсомольский рудный район. Дальний Восток. Россия) в связи с новыми представлениями о геологическом строении региона // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 6. С. 3–19.
- Изох Э.П., РуссВ.В., Кунаев И.В., Наговская Г.И. Интрузивные породы северного Сихоте-Алиня и нижнего Приамурья, их рудоносность и происхождение. М.: Наука, 1967. 383 с.
- Кокорин А.М., Кокорина Д.К., Коростелев П.Г. Минералого-геохимические черты и некоторые особенности генезиса Фестивального месторождения // Минералогия и геохимия оловорудных месторождений. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 3–25.
- Кокорин А.М., Коростелев П.Г. К вопросу о генезисе оловорудного месторождения Валькумуй (Западная Чукотка) // Состав, строение и генезис оловорудных месторождений Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 51–61.
- Коростелев П.Г., Демашов С.Б., Кокорин А.М., Кокорина Д.К. Топазовые грейзены Хинганского месторождения // Тихоокеан. геология. 1994. № 5. С. 117–124.
- Коростелев П.Г., Гоневчук В.Г., Семеняк Б.И., Сучков В.И., Кокорин А.М., Гоневчук Г.А., Гореликова Н.В., Кокорина Д.К. // Месторождение Солнечное (Комсомольский район, Хабаровский край) как типовой объект касситерит-силикатной формации // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2001. Вып. 2. Ч. 1. С. 131–155.
- Радкевич Е.А., Томсон И.Н., Лобанова Г.М. Геология и металлогения типовых рудных районов Приморья. М.: АН СССР, 1962. 130 с.
- Радкевич Е.А., Коростелев П.Г., Кокорин А.М., Рябов В.К., Степанова М.В., Кокорина Д.К., Головкин Г.С., Баку-

- лин Ю.И., Кушев В.Б., Селезнев П.Н., Клемин В.П., Радкевич Р.О. Минерализованные зоны Комсомольского района / Отв. ред. Е.А. Радкевич. М.: Наука, 1967. 116 с.
16. Радкевич Е.А., Асманов В.Я., Бакулин Ю.И., Гагаев В.Н., Житенев Н.Н., Квятковский Е.М., Кокорин А.М., Кокорина Д.К., Коростелев П.Г., Кушев В.Б., Михайлов М.А., Онихимовский В.В., Селезнев П.Н., Степанова М.В. Геология, минералогия и геохимия Комсомольского района / Отв. ред. Е.А. Радкевич. М.: Наука, 1971. 335 с.
 17. Руб М.Г., Онихимовский В.В., Бакулин Ю.И., Главацкая В.И., Кошман П.Н., Макеев Б.В., Растунцев А.П., Селезнев П.Н., Терентьев Н.А., Янонис В.В. Гранитоиды Мяо-Чанского района и связанные с ними постагматические образования. М., 1962. (Тр.ИГЕМ АН СССР, Вып. 62. 171 с.).
 18. Рундквист Д.В., Денисенко В.К., Павлова И.Г. Грейзеновые месторождения (онтогенез и филогенез). М.: Недра, 1971. 328 с.
 19. Семенов Е.И. Минералогия редких земель. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 412 с.
 20. Синяков Е.Я. Оловоносность Хингано-Олонойского района // Металлогения главных оловорудных районов юга Дальнего Востока. Владивосток: Изд-во ДВО РАН, 1988. С. 34–55.
 21. Финашин В.К., Кокорин А.М., Анахов В.В., Шлемченко С.Д. Грейзены Дубровского месторождения // Геология, магматизм и рудогенез зоны перехода от континента к океану. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 190–192.
 22. Финашин В.К., Говоров И.Н. Геолого-генетическая модель касситерит-силикатно-сульфидных месторождений // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск: Наука, 1983. Т. 2. С. 31–39.
 23. Ханчук А.И., Иванов В.В. Мезо-кайнозойские обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика. 1999. Т. 40, № 11. С. 1635–1645.
 24. Ханчук А.И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. Владивосток: Дальнаука, 2000. Вып. 1. С. 5–34.
 25. Чугаев А.В., Бортников Н.С., Гонеvчук В.Г., Гореликова Н.В. и др. Возраст оловянных руд кварц-турмалин-касситеритового месторождения Солнечное по результатам Rb-Sr датирования кварца и адуляра (Хабаровский край, Россия) // Геология руд. месторождений. 2012. Т. 54, № 3. С. 280–288.
 26. Audetat A., Gunther D. and Heinrich C.A. Magmatic – hydrothermal evolution in a fractionating granites: a microchemical study of the Sn-W-F-mineralized Mole Granite (Australia) // Geochim. et Cosmochim. Acta. 2000. V. 64, N 19. P. 3373–3393.
 27. Gonevchuk V.G., Gonevchuk G.A., Korostelev P.G., Semenyak B.I., Seltman R. Tin deposits of the Sikhote-Alin and adjacent areas (Russian Far East) and their magmatic association // Australian Jour. Earth Sci. 2010. V. 57, N 6. P. 777–802.
 28. Dubessy J., Pagel M., Beny J.M., Christensen G., Hickel B., Kosztolanyi Ch. and Poty B. Radiolysis evidenced by H₂-O₂ and H₂-bearing fluid inclusions in three uranium deposits // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1988. V. 52, N 5. P. 1155–1168/
 29. McDonough W.F., Sun S.-s. The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. V. 120. P. 223–253.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

P.G. Korostelev, V.G. Gonevchuk, N.V. Gorelikova, N.I. Ekimova, V.V. Kononov, T.L. Krylova, A.A. Orekhov, B.I. Semenyak, V.I. Suchkov

Tin-rare earth element greisens of the Solnechny cassiterite-silicate deposit, Far East, Russia

Morphology, composition and conditions of greisens formation of the Solnechny deposit (Komsomolsk ore district), are discussed. Greisens occupy the root levels of the deposit and represent a system of veins and streaks developed in contraction fissures within the metasomatically altered monzogranitic cover (94-92 Ma). The composition of greisens reflects that of monzogranites and is cassiterite-chlorite-carbonate-muscovite-quartz with an admixture of topaz, fluorite, and apatite. The greisens are close in age (85.3 Ma from muscovite) to granitic aplites at the final stage of intrusive magmatism (80-86 Ma from biotite and bulk analysis).

As opposite to industrial ores, fluid regime of greisens formation differs by a higher temperature, pressure and solution strength. Greisens are characterized by a higher content of REE, U and Th, which crystallized during the mineral genesis in association with cassiterite to form REE fluorcarbonates, thorite and uranorhite.

Key words: greisens, rare earth elements, Solnechny deposit, Komsomolsk ore region, Far East.