

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РУДОНОСНОСТИ СТЛАНИКОВОГО
РУДОПРОЯВЛЕНИЯ В ПРИМОРЬЕ

А.А. Шнайдер¹, Г.В. Ручкин²

¹ФГБУН Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000; e-mail: schneider@itig.as.khb.ru

²ФГУП ЦНИГРИ МПР РФ, Варшавское шоссе 129, корп. 1, г. Москва, 117545
e-mail: ruchkin@tsnigri.ru

Поступила в редакцию 3 октября 2016 г.

Актуальность статьи вызвана необходимостью расширения минерально-сырьевой базы на Sn и W в Приморье. Рассмотрен процесс рудоносности на Стланиковом рудопроявлении, где наряду с W и Sn выявлено редкометалльное оруденение (Li, Be, Mo, Bi, P, Ti, Rb, Zr, Ba, Ta). Здесь впервые выделена автогрейзеновая стадия, приведены ее геохимические особенности. Для нее установлено высокое содержание радиоактивных элементов Th и U, а также повышенные количества редкоземельных элементов (РЗЭ) Ce и Y групп. Обнаружен радиоактивный минерал торинит в ассоциации с РЗЭ Ce группы. В акцессорном минерале ксенотиме присутствуют тяжелые РЗЭ Y группы, которые рекомендуется извлекать при раздельной обработке объекта. Установлена минералогическая зональность. Получены сведения о надрудном–верхнерудном уровне эрозионного среза в разных зонах рудопроявления. Намечена очерочность глубинных поисков первой и второй очереди.

Ключевые слова: олово, вольфрам, редкие металлы, комплексность, радиоактивные минералы, РЗЭ, прогнозирование, Приморский край.

ВВЕДЕНИЕ

Стланиковое рудопроявление находится в пределах Главного синклиория Сихотэ-Алиня, на площади Таборного рудного поля в Арминском районе, в 15 км от суперкрупного оловянно-вольфрамового месторождения Тигриное, с которым сходно по геологической обстановке. В связи с повышением перспектив Тигринового месторождения: с увеличением его комплексности, в том числе обнаружением редкоземельной и радиоактивной минерализации [13, 14], становится важным изучение генетически близких ему оловянно-рудных проявлений Таборного рудного поля, где известна серия подобных объектов с рудными зонами на площади, превышающей Тигриное месторождение. Из этих рудопроявлений наиболее разведанное – Стланиковое, где в 1984–1988 гг. Таежной ГРЭ проводились площадная геохимическая съемка в масштабе 1:10 000 и детальные поиски с проходкой канав, шурфов и двух скважин глубиной до 200 м. Благодаря этому появились новые данные, позволяющие по-иному взглянуть на рудопроявление Стланиковое.

Целью исследований является оценка перспектив рудоносности Стланиковского рудопроявления на

Sn, W и на сопутствующее редкометалльное, радиоактивное (U, Th) и редкоземельное (РЗЭ) оруденение на основе минералого-геохимической зональности.

При оценке перспектив рудоносности принимались во внимание минералого-геохимические закономерности, полученные на однотипном Тигрином месторождении. Выявлены черты сходства и различия с ним. Были использованы результаты анализов прошлых лет, а также анализы, выполненные современными методами ИСП масс-спектрометрии на приборе Elan DRC II PerkinElmer (США) и на растровом электронном микроскопе РЭМ EVO 40HV (Carl Zeiss, Германия), оснащенном энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) в Хабаровском инновационно-аналитическом центре при Институте тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН. Анализы на электронном микроскопе выполнены м.н.с. Н.С. Коноваловой, на ИСП – м.н.с. А.В. Штаревой. Материалом для анализов служили валовые пробы, отобранные из разновременных минеральных ассоциаций в камнехранилище ТФГИ по ДВФО МПР РФ г. Хабаровска,

характеризующие определенные стадии процесса образования минералов во времени.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РУДОПРОЯВЛЕНИИ

Рудопроявление Стланиковское занимает площадь 6.5 км², находится в зоне повышенной трещиноватости в ороговикованных алевролитах таухинской свиты и песчаниках ключевской свиты (К₁), смятых в складки субширотного простирания, и приурочено к надкупольной части Восточно-Кандоминского массива гранитоидов (рис. 1). Стланиковское рудопроявление связано с обширным роговиковым полем невоскрытого интрузивного массива. На его площади выявлен контрастный роговиковый ореол в терригенных толщах раннемелового возраста, имеющий общее восток-северо-восточное простирание. Через всю площадь рудопроявления проходит рой даек фельзитовых риолитов и порфиридных гранитов преимущественно северо-западного простирания протяженностью до 300–500 м, мощностью первые метры. На северо-востоке участка наблюдаются жильные тела (жила Незаметная и другие). В центральной части роговикового ореола интенсивно проявлена вольфрамоносная грейзеновая и прожилково-кварцевая минерализация штокверкового типа. На сравнимом Тигрином месторождении в 1978–1980 гг. С.М. Родионовым выявлена купольная структура вокруг Тигриногo штока гранит-порфира [6]. В период 1981–1984 гг. там же группой М.С. Шнайдера была уточнена схема последовательности формирования минеральных парагенезисов руд, уточнены особенности морфологии и внутреннего строения Центральной рудной зоны, выделена минералогическая и геохимическая зональность [8]. Важным результатом работ в этот период на Тигрином месторождении было обнаружение плащеобразной залежи руд наряду со штокверковой минерализацией, приуроченной к апикальной части купольного выступа гранит-порфириного штока, в которой сосредоточено около 20 % запасов оловянно-вольфрамовых руд на месторождении.

РЕЗУЛЬТАТЫ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нами было проведено минералогическое картирование на поверхности описываемого рудопроявления в масштабе 1:5 000, которое сопровождалось отбором каменного материала с целью последующего изучения вещественного состава руд, типоморфных свойств минералов и последовательности их выделения. Минеральный состав Стланиковского рудопроявления приведен в табл. 1. Главными рудными минералами являются вольфрамит, касситерит, арсенопирит, висмутин, молибденит, мельниковит-пирит,

пирит, сфалерит, халькопирит, жильными – берилл, биотит, кварц, мусковит, рутил, сфен, топаз, турмалин и циннвальдит. Процесс образования минералов был прерывистым, как и на Тигрином месторождении. Об этом свидетельствуют текстуры пересечения, наличие брекчий, а также разные температурные обстановки при формировании разновременных стадий. Рудные зоны представлены несколькими морфологическими разновидностями: штокверковые зоны, конформная залежь и жилы. Сложность и длительность развития процессов минералообразования, происходящих в различных физико-химических условиях при формировании месторождений – один из признаков крупных объектов [11]. На площади рудного поля нами выявлено семь разновременных стадий образования мине-

Таблица 1. Минеральный состав руд Стланиковского рудопроявления.

Гипогенные		Гипергенные
Рудные	Жильные	
Арсенопирит	Апатит	Бисмутит ^{x)}
Аргентит ^{x)}	Анатаз	Базобисмутит ^{x)}
Вольфрамит	Берилл ^{x)}	Вольфрамовые охры ^{x)}
Висмут сам. ^{x)}	Брукит	Каолинит
Висмутин ^{x)}	Биотит	Ковеллин ^{x)}
Галенит	Гранат	Лимонит*
Гематит	Гидромусковит ^{x)}	Лейкоксен ^{x)}
Железо сам. ^{x)}	Кварц	Марказит ^{x)}
Золото сам. ^{x)}	Мусковит	Питтицит ^{x)}
Ильменит ^{x)}	Монацит	Скородит*
Касситерит	Полевой шпат*	Халькозин ^{x)}
Леллингит ^{x)}	Рутил ^{x)}	
Магнетит	Сфен ^{x)}	
Молибденит ^{x)}	Серицит	
Мельниковит ^{x)}	Топаз	
Мельниковит-пирит ^{x)}	Турмалин	
Пирит ^{x)}	Флюорит*	
Пирротин ^{x)}	Хлорит	
Сфалерит ^{x)}	Циннвальдит	
Халькопирит ^{x)}	Циркон	
Шеелит	Эпидот	

Примечание. ^{x)} Минералы, обнаруженные впервые; главные минералы выделены жирным шрифтом; второстепенные – помечены звездой; остальные минералы – редко встречающиеся.

ралов: молибденит-кварцевая, кварц-турмалиновая, автогрейзеновая, грейзеновая, кварц-касситеритовая, существенно арсенопиритовая и хлорит-сульфидная (табл. 2). Места локализации образований разных стадий приведены на рис. 1. Рассмотрим характеристику процессов, проявленных на Стланиковом рудопроявлении – кварц-турмалиновую стадию, отсутствующую

щую на Тигрином месторождении, а также автогрейзеновую стадию, которая выделена нами впервые, грейзеновую стадию с W и Sn минерализацией и позднюю существенно арсенопиритовую стадию.

Кварц-турмалиновая стадия развивается после формирования молибденит-кварцевой стадии, приурочена к роговикам Центральной рудной зоны в виде прожилков мощностью от нескольких мм до 5 см и брекчий, в обломках которых наблюдаются фельзито-

вые риолиты и порфиroidные граниты. Взаимоотношения минералов данной стадии с минералами других стадий приведены на рис. 2 а-г. Рудных минералов в ней мало, суммарное их количество составляет от 1 до 3 объем. % с преобладанием ильменита в сростании с зернами касситерита I. Помимо перечисленных минералов присутствуют висмутин, станнин, рутил, сфен и берилл. По данным минералогического анализа количество турмалина в кварц-турмалиновой ста-

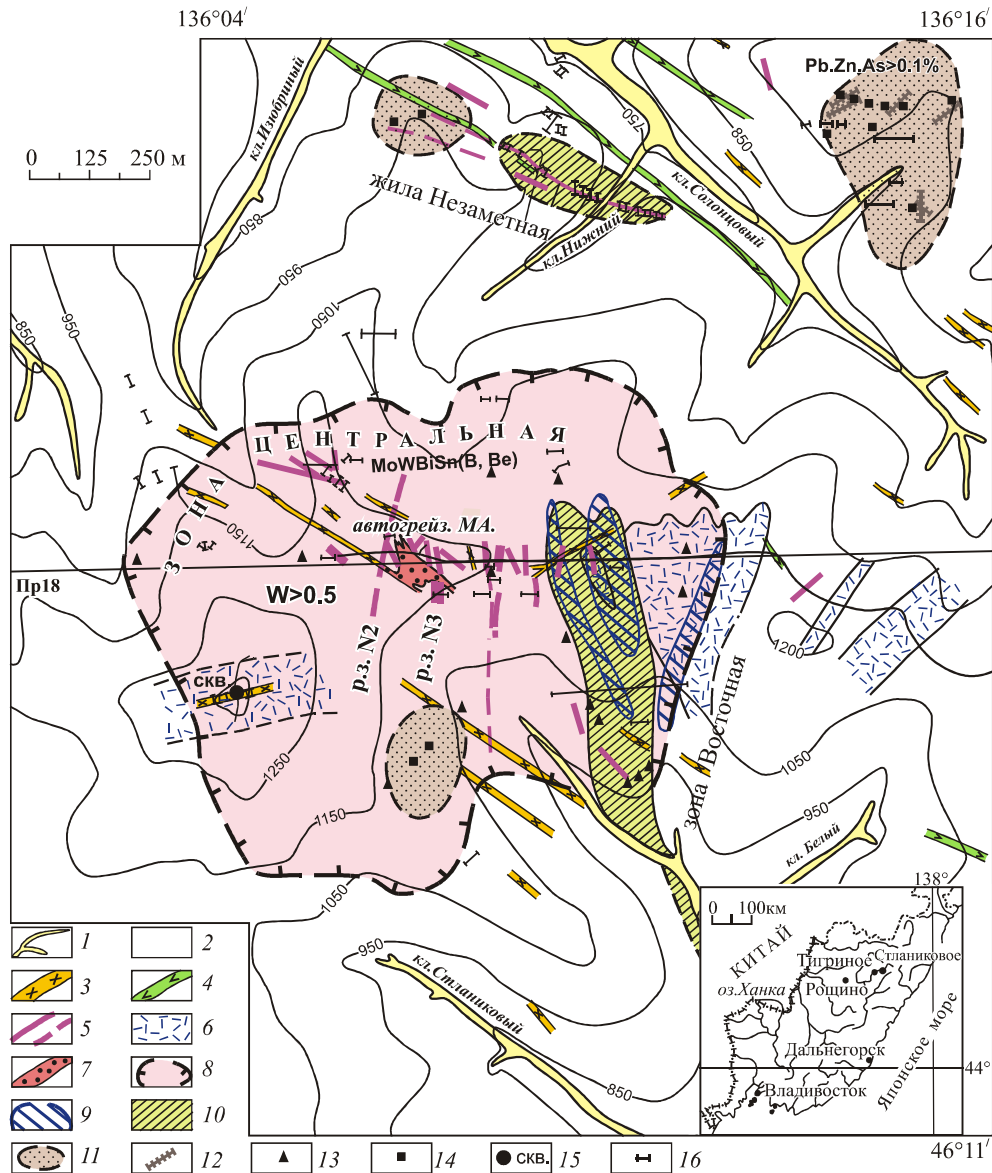


Рис 1. Схема размещения образований одновременных стадий минералообразования на рудопроявлении Стланиковское (составлено Шнайдер А.А. с использованием материалов Таежной ГРЭ ППГО).

1 – аллювий; 2 – осадочные толщи: песчаники и алевролиты; 3 – дайки фельзитовых риолитов и порфиroidных гранитов; 4 – дайки диорит-порфиroidов; 5 – жилы и прожилки с вольфрамовой и оловянной минерализацией. Стадии минералообразования: 6 – кварц-турмалиновая; 7 – автогрейзеновая; 8 – грейзеновая; 9 – кварц-касситеритовая; 10 – существенно арсенопиритовая; 11 – хлорит-сульфидная; 12 – минерализованные зоны дробления, брекчий и повышенной трещиноватости с сод. (Pb, Zn, As) > 0,1%; 13 – штупные пробы с сод. WO₃ > 0,5%; 14 – пробы с сод. (Pb, Zn, As) > 0,1%; 15 – скважина, 16 – канавы.

Таблица 2. Схема последовательности минералообразования на Стланиковом рудопоявлении.

Стадии минералообразования	Минеральный состав	Морфологические типы минерализации	Температуры гомогенизации кварца
Молибденит- кварцевая	Кварц–молибденит–висмутин	Разноориентированные прожилки в роговиках	500–560° С (по II типу)
Кварц-турмалиновая	Кварц–турмалин (10–57)–ильменит–касситерит I (0,06–0,32) – станнын–висмутин–берилл–рутил–сфен	Прожилки в роговиках и брекчии с обломками даек риолитовых порфиров	500° С (по II типу), 425–435° С (данные декрепитации кварца)
Автогрейзеновая	Кварц–слода–топаз–полевоый шпат–флюорит–касситерит II –висмутин–вольфрамит I –ильменит–арсенопирит	Сплошное грейзеновое тело в одном участке	500–≥600° С (по II типу)
Грейзеновая	Кварц+берилл (10–50)–арсенопирит–вольфрамит II (1) Кварц–слода, Кварц–слода–молибденит–висмутин–вольфрамитовые II (1–80) Кварц–слода–касситеритовые III (15–50), кварц–слода–топазовые с рутилом, касситеритом, халькопиритом и галенитом	Разноориентированные прожилки мощностью 1,5 мм–3 см, секущие роговики, дайки кварцевых порфиров, риолитовых порфиров, образующие штокерк в надкупольной части гранитного штока о к в а р ц е в а н и е	420–380 ° С (по I типу)
Кварц-касситеритовая	Кварц–касситерит IV (90) –халькопирит	Прожилки мощностью до 3 см	345 ° С (по данным декрепитации касситерита), 410–380 ° С и 260 ° С (данные гомогенизации кварца)
Существенно арсенопиритовая	Кварц+арсенопирит (40–90) –вольфрамит III (2)–халькопирит–сфалерит–мельниковит–пирит–висмут сам.–скородит–халькозин–ковеллин.	Жилы, мощностью от 5–10 см до 1 м, секущие роговики, нередко на контакте с жилами – зоны дробления	200–220 ° С (по I типу)
Хлорит-сульфидная	Хлорит–сфалерит–галенит–железо сам.–аргентит–теллинит–флюорит–кварц	Прожилки выполняют осевые части существенно арсенопиритовых прожилков	160–180 ° С (по I типу)

Примечание. В скобках приведены количества минералов в объемных %.

дии колеблется от 10 до 57 объем. %. По высоким содержаниям железа (более 10 %) и высоким показателям преломления ($N_g = 1.655$, $N_e = 1.630$) турмалины отнесли к шерлам. Места локализации кварц-турмалиновых брекчий приурочены к вершине г. Стланиковой в виде участка, вытянутого в субширотном направлении, параллельно дайке риолитовых порфиров (рис. 1). Кварц-турмалиновые прожилки полосчатого строения встречаются в восточной части рудного поля, в зоне Восточной. По данным количественного спектрального анализа содержание бора в этих турмалинах высокое, более 8.0 %. Описываемая стадия также продуктивна и по Sn, содержание которого колеблется от 0.06 до 0.32 объем. %, из которых 83 % олова находится в окисной форме, 12 % – в растворимой форме, в виде деревянистого олова (данные фазового анализа). Температуры гомогенизации кварцев кварц-турмалиновой стадии довольно высоки (до 500 °С), и гомогенизируются они в газ, по II типу. Перечисленные особенности свидетельствуют о высокотемпературном пневматолитово-гидротермальном процессе при формировании этой стадии. По-видимому, присутствие бора повлияло на наличие этого процесса на рудопроявлении Стланиковом в отличие от Тигриного месторождения, где после формирования молибденит-кварцевой стадии сформировались пегматоиды. В оловорудных месторождениях касситерит-кварцевой формации грейзено-

вого типа главным элементом является фтор, а бор занимает подчиненное положение, но когда его много, он выделяется раньше рудного процесса в виде турмалина. Подобные закономерности установлены также в оловорудных месторождениях Альтенберг, Циновец, Эренфридерсдорф в Рудных горах (ГДР и ЧССР) и на ряде месторождений северо-востока России [4].

Автогрейзеновая стадия. В Центральной зоне рудопроявления, в районе 18 профиля, между рудными зонами № 2 и № 3, на поверхность выходят дайки риолита фельзитового, секущие тело порфировидного гранита (рис. 1). Эти гранит-порфиры интенсивно грейзенизированы с обильной вкрапленностью касситерита II и вольфрамиты I, также присутствуют ильменит, висмутин, слюда, топаз, полевые шпаты, флюорит, арсенипирит. По текстурным особенностям эти грейзены напоминают плащеобразные грейзены Тигриного месторождения. О морфологии автогрейзеновой стадии и ее параметрах пока говорить сложно, так как присутствие ее мы установили по высыпкам оплывших канав, из которых была отобрана нами валовая проба, проанализированная на РЗЭ, а также на редкие, цветные металлы, уран и торий (табл. 3 и 4). В центральной части рудопроявления Стланиковом канавами прослежено тело интенсивно грейзенизированных порфировидных гранитов изометричной формы. Растворы при формировании данной стадии были

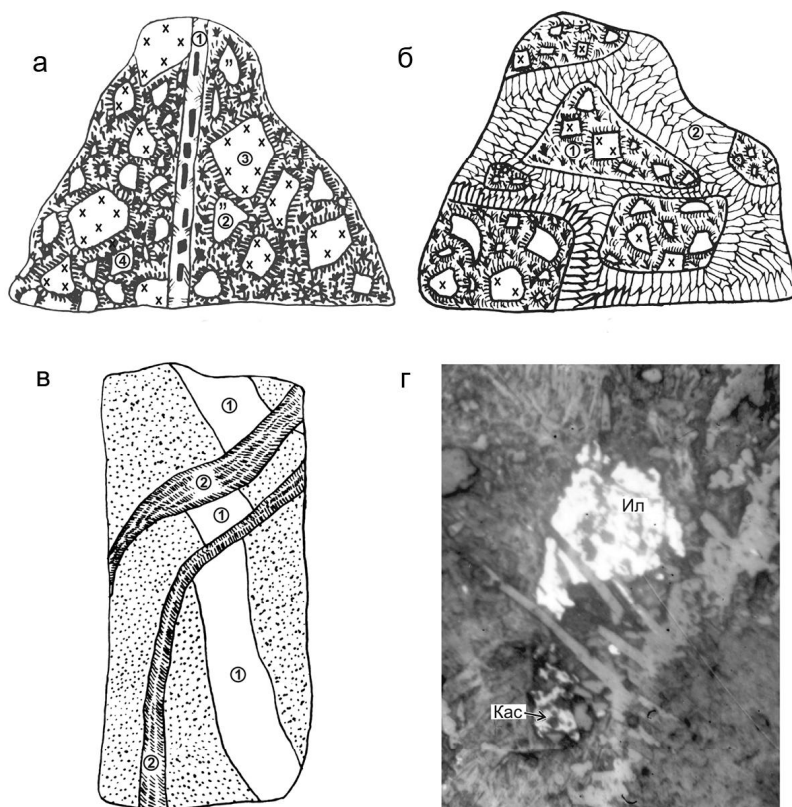


Рис. 2. Взаимоотношения некоторых минеральных ассоциаций на рудопроявлении Стланиковом.

а – прожилок кварц-слюда-вольфрамитового состава грейзеновой стадии (1) сечет кварц-турмалиновую брекчию. В обломках брекчии роговики (2), риолитовые порфиры (3), ранний кварц с молибденитом и висмутином (4). Обр. 694–В, к-ва 4; б – обломки кварц-турмалиновых брекчий (1) в кварцевом цементе (2). Обр. 688–В, к-ва 4; в – прожилок раннего кварца с молибденитом и висмутином (1) сечется со смещением прожилками кварц-турмалинового состава полосчатого строения (2). Вмещающие породы – роговики. Обр. 696–В, к-ва 4; г – включения касситерита (Кас), ильменита (Ил) в кварц-турмалиновом агрегате. Анш. 686–В, к-ва 4, ув. 190^x.

пневмолитово-гидротермальные, о чем свидетельствуют высокие температуры гомогенизации (от 500 до ≥ 600 °С, причем гомогенизация проходила по II типу, в газ). По данным ИСП в этой стадии отмечаются повышенные содержания Li, W, Sn, Nb, P, Ti, Rb, Zr, Hf, которые на порядок, иногда на несколько порядков выше, чем в других стадиях (табл. 3). Характерной геохимической особенностью автогрейзеновой стадии на Стланиковом рудопроявлении являются повышенные содержания радиоактивных элементов – Th (93.82 г/т, при кларковых – 9.4) и U (9.05 г/т, при кларковых – 2.3), отношение Th/U также высокое, равно 10.37. Сумма радиоактивных элементов состав-

ляет 102.87 г/т. На Тигрином месторождении в подобной стадии количества перечисленных элементов намного ниже ($\Sigma\text{Th}+\text{U} = 17.11$ г/т). Геохимической особенностью автогрейзеновой стадии Стланиковского рудопроявления является резко повышенные количества всех РЗЭ, кроме Sc, о чем свидетельствует ΣTR , равная 2515.67 г/т (табл. 4). В последующих стадиях она плавно понижается до 52.92 г/т – в существенно арсенипиритовой стадии. В автогрейзеновой стадии, по данным ИСП, наблюдаются РЗЭ цериевой и иттриевой групп, с существенным преобладанием элементов цериевой группы. На электронном микроскопе в этой стадии по многим точкам наблюдений установ-

Таблица 3. Содержание редких и цветных металлов, урана и тория на Стланиковом рудопроявлении.

Стадии минералообразования	Содержание элементов, г/т										
	Li	Be	P	Ti	Cu	Zn	Rb	Zr	Nb	Mo	Sn
Автогрейзеновая	201.49	4.06	47199.02	3042.91	13.83	98.14	437.74	128.70	8.89	61.36	33.24
Грейзеновая	631.87	5.75	50.58	318.36	49.84	85.30	472.63	22.86	8.20	115.76	45.02
Существенно арсенипиритовая	17.33	0.14	21.84	241.38	132.23	3847.70	1.52	18.20	0.93	22.94	20.26

Стадии минералообразования	Содержание элементов, г/т									
	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Pb	Bi	Th	U	Th/U
Автогрейзеновая	21.78	154.14	4.32	0.21	155.51	36.52	15.75	93.82	9.05	10.37
Грейзеновая	27.68	168.04	0.96	0.61	259.92	31.40	728.68	17.04	3.04	5.61
Существенно арсенипиритовая	0.38	7.20	0.43	<0.001	29.29	12.57	134.91	5.39	0.63	8.56

Примечание. Содержания элементов – по данным ИСП. Жирным шрифтом выделены элементы с повышенным содержанием.

Таблица 4. Распределение РЗЭ на Стланиковом рудопроявлении.

Стадии минералообразования	Содержание элементов, г/т									
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	
Автогрейзеновая	294.36	717.80	89.38	385.76	143.08	32.54	179.50	31.19	166.56	
Грейзеновая	11.36	27.72	3.42	13.86	3.34	0.25	2.33	0.18	0.94	
Существенно арсенипиритовая	10.30	21.99	2.42	9.44	1.94	0.21	1.71	0.12	0.82	

Стадии минералообразования	Содержание элементов, г/т									
	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Sc	ΣTR	Ho	Er
Автогрейзеновая	27.13	65.94	8.24	44.06	4.92	320.48	4.73	2515.67	27.13	65.94
Грейзеновая	0.08	0.39	<0.001	0.42	<0.001	3.68	19.32	87.29	0.08	0.39
Существенно арсенипиритовая	0.07	0.32	<0.001	0.28	<0.001	3.30	<0.001	52.92	0.07	0.32

Примечание. Содержания элементов – по данным ИСП. Жирным шрифтом выделены элементы с повышенным содержанием.

лено в разных энергодисперсионных спектрах концентрации Th, которые колеблются от 2 до 7 вес. %. Урановая минерализация не установлена, по-видимому, из-за близости ионных радиусов U и Th [5]. По энергодисперсионным спектрам нам удалось выявить минеральные формы радиоактивных, РЗЭ и сопутствующих им минералов (рис. 3, а–в). По-видимому, Th содержится в виде торианита ThO_2 в ассоциации с легкими РЗЭ цериевой группы (La, Ce, Pr, Nd), сумма которых составляет 44 вес. %. Подобные сочетания элементов Новиков Г. Ф., Капков Ю. Н. относят к торианиту [5]. Здесь же наблюдается связь Th с К. Не исключено, что К является радиоактивным изотопом (^{40}K). Часть Th входит в виде изоморфной примеси в кристаллическую решетку акцессорного монацита (Ce, La) $[\text{PO}_4]$, ассоциирующего с цирконом и с солями ортофосфорной кислоты H_3PO_4 (рис. 3 а). Торианит отмечается также в тесной ассоциации с TiO_2 и с РЗЭ цериевой группы (рис. 3 б). При наличии в спектрограммах РЗЭ иттриевой группы радиоактивная минерализация в них не наблюдалась. В акцессорном ксенотиме присутствуют в основном тяжелые элементы Er, Tm, Yb и элементы средней тяжести Dy, Ho, Gd (рис. 3 в). Содержание Y составляет 12.74 % от $\sum\text{TR}$ данной стадии. Состав ксенотима, в вес %: Y_2O_3 – 25.3; Gd_2O_3 – 1.2; Er_2O_3 – 6.7; Dy_2O_3 – 7; Yb_2O_3 – 7.1; Tm_2O_3 – 1.4; Ho_2O_3 – 2.0; P_2O_5 – 15.3. Данные цифры свидетельствуют о высоких содержаниях ряда тяжелых РЗЭ, которые, по-видимому, можно извлекать как сопутствующие элементы при отдельной обработке объекта.

Грейзеновая стадия является самой продуктивной на вольфрамовую и оловянную минерализацию. Количество вольфрамита в отдельных пробах достигает до 80 объем. %, касситерита – до 50 объем. %. В отличие от других стадий на рудопоявлении для грейзеновой стадии характерно обилие различных минерально-парагенетических ассоциаций в разных сочетаниях, которые формировались при близких температурных обстановках от 420 до 380°C при гомогенизации по I типу (в жидкость). Представлена грейзеновая стадия разноориентированными прожилками мощностью от 1.5 мм до 3 см, различного минерального состава, секущими роговики, дайки кварцевых порфиров и риолитовых порфиров, образующих штокверк в надкупольной части гранитного штока в Центральной зоне участка (табл. 2, рис. 1). В сростании с вольфрамитом наблюдается касситерит III генерации (до 50 объем. %), размером до 1.5 см. Геохимической особенностью грейзеновой стадии являются повышенные содержания редких металлов: Li, Be, Rb, Mo, Sn, Cs, Ba, Ta, W, Bi (табл. 3). Из РЗЭ отмечается повышенное содержание только Sc (до

19.32 г/т), находящегося в виде изоморфной примеси в касситеритах III генерации. Содержания радиоактивных элементов ниже кларковых – 1.7 К (Th), < 1 К (U) (табл. 3).

Существенно арсенопиритовая стадия разнообразна по минеральному составу, представлена жилами мощностью от 5–10 см до 1 м, секущими роговики. Доминирующим минералом в жилах является арсенопирит (от 40 до 90 объем. %), частично окисленный до скородита. Помимо халькопирита, сфалерита, мельниковита, пирита, висмута, кварца, халькозина и ковеллина в небольших количествах отмечается вольфрамит до 2 объем. % (табл. 2, рис.1). Обнаружена данная стадия в Восточной меридиональной зоне. На контакте с жилами наблюдаются зоны дробления. В северной части участка данной минеральной ассоциацией сложена жила Незаметная. Осевые части ее выполнены хлорит-сульфидными прожилками, завершающими процесс образования минералов на Стланиковом рудопоявлении. Температуры гомогенизации кварца существенно арсенопиритовой стадии низкие и составляют от 200 до 220°C. Геохимической особенностью арсенопиритовой стадии являются повышенные содержания Cu и Zn. Содержания радиоактивных и РЗЭ ниже кларковых.

Распределение выделенных стадий на площади Стланиковского рудопоявления следующие: грейзеновая, несущая оловянно-вольфрамовое оруденение, тяготеет к центральной части роговикового ореола; кварц-турмалиновая и существенно арсенопиритовая в юго-восточной части поля имеют тенденцию к схождению в единую корневую область. На корневую область в этом участке также указывает ориентировка даек фельзитовых риолитов, а также схождение в этом участке современных долин, ручьев, наследующих, возможно, зоны разломов. К этой меридиональной структуре приурочена большая часть касситеритоносных тел, наличие которых можно расценить как признак меньшего эрозионного среза с перспективой повышения продуктивности вольфрамовой минерализации на глубину.

Группой авторов на Тигрином месторождении впервые привлечено внимание к молибденовой минерализации и возможности извлечения ее при попутной добыче [7]. Установлены прямая корреляция Mo с Bi и генетическая связь молибденовой минерализации со штоком гранит-порфиров. Наибольшее внимания заслуживает зона обрамления Малого штока и апикальная часть экзо-эндоконтактовой зоны Главного штока. На Стланиковом рудопоявлении Mo минерализация также есть: с нее начинается процесс минералообразования – молибденит-кварцевая стадия (с кварцем, молибденитом и висмутином), а также она

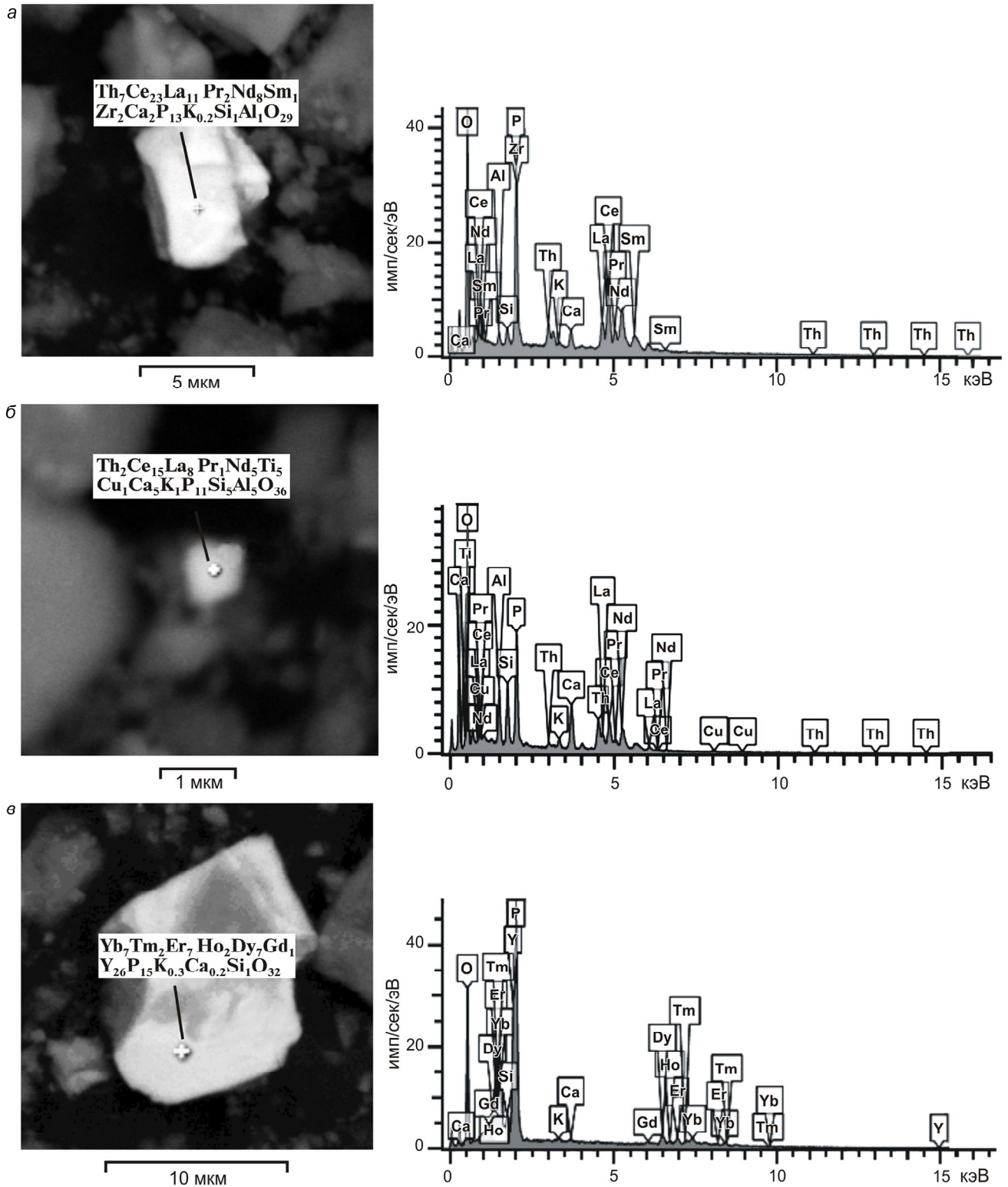


Рис. 3. Минеральные формы радиоактивных, РЗЭ и сопутствующие им минералы автогрейзеновой стадии, рудопроявление Станиковское (слева – содержание элементов в точке наблюдений, в весовых долях %; справа – энергодисперсионные спектры).

а – торианит (ThO_2) в тесной ассоциации с РЗЭ цериевой группы; здесь же отмечается тесная взаимосвязь Th с K; часть Th входит в виде изоморфной примеси в кристаллическую решетку монацита (CePO_4), а часть ассоциирует с Zr; б – торианит (ThO_2) в тесной ассоциации с титановой минерализацией (ильменитом – FeTiO_3) и с РЗЭ цериевой группы; в – включения ксенотима (YPO_4) с примесью тяжелых (Yb, Tm, Er) и средней тяжести (Dy, Gd, Ho) РЗЭ.

является составной частью кварц-слюда-молибденит-висмутин-вольфрамитовых прожилков грейзеновой стадии (табл. 2).

Для оценки уровня эрозионного среза Стланикового рудопоявления применен метод изменения химического состава вольфрамитов в связи с геологическими условиями его образования. Характерными элементами-примесями в вольфрамитовых кристаллах являются MnO и FeO , связанные изоморфно с WO_3 , в сумме составляющие 23,5 мас. %. Мы исходили из практических построений, апробированных нами на Тигрином месторождении – в глубинных высокотемпературных условиях кристаллизуется вольфрамит, в близповерхностных – ферберит и гюбнерит [2, 12]. Из 27 проб вольфрамитов, отобранных нами по рудопоявлению Стланиковому, 22 пробы отнесены к ферберитам – Wt 1,75–4,95, 4 пробы – к вольфрамитам Wt 9,73, с сод. $MnWO_4$ 27–72 % и одна проба – к гюбнеритам с сод. $MnWO_4$ 61–79 %. Это дает основание сделать предположение о неглубоком уровне среза грейзеновой минерализации на Стланиковом рудопоявлении. С глубиной ферберит должен смениться вольфрамитом. Единственное проявление гюбнерита приурочено зоне Восточной, что может указывать на меньший уровень эрозионного среза на этом участке.

Для оценки протяженности оловянной минерализации использован известный и апробированный нами на многих месторождениях Дальнего Востока кристалломорфологический метод Н.З. Евзиковой [3], по предложенным ею формулам рассчитывалась протяженность оловянной минерализации на глубину и эродированной части. Проведенные расчеты показали общий размах оловянной минерализации в грейзенах: в Центральной зоне оценивается ~ в 80 м, в меридиональной структуре (в зоне Восточной) ~ в 400 м. Таким образом, на Стланиковом рудопоявлении проявлена следующая минералогическая зональность: в Центральной зоне проявлена грейзеновая стадия с оловянно-вольфрамовым оруденением; существенно арсенопиритовая и кварц-касситеритовая стадии приурочены к субмеридиональной зоне Восточной. Рудные тела поздней хлорит-сульфидной стадии отдельными пятнами выходят на поверхность в периферических частях рудного поля и выполняют осевые части существенно арсенопиритовых прожилков. Минералогические данные (состав вольфрамитов, кристалломорфология касситеритов, минералогическая зональность) дополняют сведения о надрудном-верхнерудном уровне эрозионного среза участка рудопоявления Стланикового.

По геохимическим и структурно-геологическим данным, выполненным по методике Апелъцина Ф.Р.

[1], произведена оценка прогнозных ресурсов по категории Р2, которая соответствует 0,7 месторождения Тигрино; протяженность оруденения на глубину – до 400 м. Стланиковое рудопоявление заслуживает дальнейшего продолжения геолого-разведочных работ для вскрытия глубоких горизонтов скважинами. На описываемом рудопоявлении соотношение $W:Sn = 3:1$. На данном объекте наряду с W и Sn типоморфными элементами-примесями являются Li , Mo , Be , F , Bi , As , Cu , Zn , которые дополняются попутными компонентами (РЗЭ и Th), придающим комплексность рудам при селективной добыче.

Изложенные характерные признаки на Стланиковом рудопоявлении соответствуют крупным оловянным месторождениям Дальнего Востока, относящимся к касситерит-кварцевой формации [10]. Кроме того, на Таборном рудном поле известна серия подобных рудопоявлений с рудными зонами на площади, превышающей Тигриное месторождение, к сожалению, пока не изученными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По генетическим и минералогическим особенностям рудопоявление Стланиковое принадлежит к касситерит-кварцевой формации, грейзеновому типу. Процесс формирования его был пульсационный, многоактный при различных РТХ-условиях: выделено 7 стадий минералообразования – молибденит-кварцевая, кварц-турмалиновая, автогрейзеновая, грейзеновая, кварц-касситеритовая, существенно арсенопиритовая и хлорит-сульфидная. Автогрейзеновая стадия на этом объекте выделена нами впервые.

2. Установлена минералогическая зональность: в зоне Центральной проявлены молибденит-кварцевая, автогрейзеновая, грейзеновая и кварц-касситеритовая стадии с Sn - W оруденением штокверкового типа. Кварц-касситеритовая стадия совместно с кварц-турмалиновой и существенно арсенопиритовой стадиями проявлены также в зоне Восточной в виде прожилковой минерализации. Минерализация существенно арсенопиритовой стадии является составной частью жилы Незаметной. Образование поздней хлорит-сульфидной стадии отдельными пятнами выходит на поверхность в периферических частях рудного поля и выполняют осевые части существенно арсенопиритовых жил. Минералогическая зональность подтверждена данными структурно-геохимических построений: к зоне Центральной приурочены высокотемпературные фации с W , Be , Mo , Sn , Bi , которые в обрамлении сменяются низкотемпературной фацией – Cu , в виде кольцевого ореола. Для периферии всего участка характерны свинцовая и цинковая минерализации.

3. Для данного объекта наряду с W и Sn установлены следующие типоморфные элементы: P, Ti, Zr, Nb, Hf (в автогрейзеновой стадии), Li, Rb, Mo, Bi, Ta, Cs (в грейзеновой стадии), Cu и Zn (в существенно арсенопиритовой). Наряду с редкими элементами для автогрейзеновой стадии характерны высокие содержания радиоактивных элементов, сумма которых составляет 102.87 г/т: Th – 93.82 г/т (9.4 К) и U – 9.05 г/т (2.3 К), а также РЗЭ, Σ TR которых составляет 2515.67 г/т. Характерной особенностью является преобладание РЗЭ цериевой группы по сравнению с иттриевой группой. На Тигрином месторождении в подобной стадии Σ TR всего 49.76 г/т. Необходимо подчеркнуть, что таких высоких содержаний радиоактивных элементов, а также Σ TR, как на Стланиковом рудопроявлении, ни на одном из изученных нами оловорудных месторождениях не было. В грейзеновой стадии обращает на себя внимание Sc, содержание которого равно 19.32 г/т. Sc входит в виде изоморфной примеси в касситериты и может извлекаться попутно при отработке объекта. Наличие высоких содержаний радиоактивных и РЗЭ повысит комплексность руд рудопроявления Стланикового и при его отдельной отработке его следует обратить на это особое внимание.

4. Выявлены следующие минеральные формы радиоактивных, РЗЭ и сопутствующие им минералы в автогрейзеновой стадии: торинит (ThO_2) в тесной ассоциации с РЗЭ Се группы; часть Th входит в виде изоморфной примеси в кристаллическую решетку монацита (CePO_4), а часть ассоциирует с Zr. Торинит встречается в тесной ассоциации с Ti минерализацией – ильменитом (FeTiO_3) и с РЗЭ Се группы. Обнаружены включения ксенотима (YPO_4) с примесью тяжелых (Yb, Tm, Er) и средней тяжести (Dy, Gd, Ho) РЗЭ, которые можно извлекать в качестве сопутствующих элементов при отдельной отработке объекта. Тем более, что в настоящее время цены на РЗЭ средней тяжести и тяжелые растут на мировом рынке.

5. Подсчитан уровень эрозионного среза оловянной минерализации с помощью метода Н.З. Евзиковой, по кристалломорфологии касситерита [3]. Общий размах оловянной минерализации в грейзенах Центральной зоны оценен в 80 м, в зоне Восточной – в 400 м. Неглубокий уровень среза грейзеновой минерализации также подтвердили расчеты, выполненные по методу В.Н. Воеводина – по химизму вольфрамитов [2]. Таким образом, по минералогическим данным (зональности, составу вольфрамитов, кристалломорфологии касситеритов) получены дополнительные сведения о надрудном–верхнерудном уровне эрозионного среза участка рудопроявления Стланиковое.

6. По геохимическим и структурно-геологическим данным произведена оценка прогнозных ре-

сурсов рудопроявления Стланикового по методике Ф.Р. Апельцина, С.Ф. Лугова и др. [1]. Она соответствует по категории P2 = 0.7 месторождения Тигриного. Протяженность оруденения на глубину 400 м. Соотношение W:Sn = 3:1.

7. Полученные данные позволили наметить очередность для проведения глубинных поисков скважинами. Рекомендуем в первую очередь меридиональную структуру – зону Восточную, во вторую очередь – зону Центральную и в третью очередь – зону Западную с предварительной проходкой канав по 4 профилям для решения вопроса о целесообразности проходки здесь скважин.

8. По данным А.И. Ханчука [9], «главным фактором комплексности оловорудных объектов Дальнего Востока является смена геодинамических режимов и их совмещение от ранней трансформной континентальной окраины калифорнийского типа к активной континентальной окраине андийского типа и снова к молодой трансформной окраине». Этот определяющий фактор усиливается многоэтапностью, многостадийностью процессов формирования объектов, пульсационной минералогической зональностью и ее телескопированием в пространстве и во времени. Все перечисленные признаки характерны для Стланикового рудопроявления.

Авторы благодарны сотрудникам ИТиГ ДВО РАН чл.-корр. РАН А.Н. Диденко, картографам Л.Г. Телегиной, С.А. Махаевой, Л.А. Мельниковой, а также м.н.с. Н.С. Коноваловой, м.н.с. А.В. Штаревой и сотруднику ГИС-группы ст. инженеру О.В. Козловой, оказавшим большую помощь при подготовке статьи к публикации.

Работа выполнена в рамках Гос. задания ИТиГ ДВО РАН и при частичном финансировании Программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (проект № 15-1-2-030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апельцин Ф.Р., Лугов С.Ф., Покалов В.Т., Фролов А.А. Локальное прогнозирование плутогенных месторождений молибдена, вольфрама, олова. М.: Недра, 1985. 244 с.
2. Воеводин В.Н. Зависимость химического состава вольфрамитов от геологических условий их образования // Геология рудных месторождений, 1980. № 4. С. 32–43.
3. Евзикова Н.З. Поисковая кристалломорфология. М. Недра, 1984. С. 124–125.
4. Константинов Р.М., Лугов С.Ф., Макеев Б.В., Материков М.П., Павловский А.Б., Руб М.Г., Томсон И.Н. // Геология месторождений олова зарубежных стран. М.: Недра, 1969. 328 с.
5. Новиков Г.Ф., Капков Ю.Н. Радиоактивные методы разведки. Ленинград, 1965. С. 247–271.
6. Родионов С.М. Металлогения олова Востока России. М.: Наука, 2005. С. 215–219.

7. Родионов С.М., Шнайдер А.А., Романовский Н.П., Гурович В.Г. Молибденовая минерализация в рудах оловорудного месторождения Тигриное (Приморье, Россия) // Геология рудных месторождений. 2007. Т. 49, №4. С. 321–333.
8. Ручкин Г.В., Шнайдер М.С., Шнайдер А.А., Ивакин А.Н., Левшук А.Е., Орловский В.В., Лариошкин А.К., Акимов В.М. Модель формирования оловянно-вольфрамового месторождения // Геология рудных месторождений. 1987. № 2. С. 85–88.
9. Ханчук А.И., Гореликова Н.В., Павловска-Глэн В., Толосана-Дельгадо Р. Новые данные по распределению микроэлементов в касситерите оловянных месторождений Дальнего Востока // Докл. АН. 2004. Т. 399, № 1. С. 100–103.
10. Шнайдер А.А. Прогнозирование оловянного оруденения глубоких горизонтов и флангов месторождений на основе комплексного минералогического изучения руд // ЗРМО. № 3. 2004. С. 25–36.
11. Шнайдер А.А. Генетические и минералогические особенности крупных месторождений Дальнего Востока России // Глубинное строение и металлогения Восточной Азии. Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 166–185.
12. Шнайдер А.А. Вольфрамиты оловянно-вольфрамового месторождения Тигриное (Приморье) // ЗРМО. 2011. № 5. С. 64–76.
13. Шнайдер А.А., Авдеев Д.В. Редкометалльные, редкоземельные элементы в оловорудных месторождениях разных генетических типов Сихотэ-Алиня // Отечественная геология. 2013. № 6. С. 21–30.
14. Шнайдер А.А., Коновалова Н.С. Минеральные формы нахождения радиоактивных элементов в оловорудных месторождениях разных генетических типов на Дальнем Востоке России // Отечественная геология. 2015. № 2. С. 19–28.

Рекомендована к печати А.Н. Диденко

A.A. Schnaider, G.V. Ruchkin

Estimation of prospects of ore content in the Stlannikov ore manifestation, Primorye

Actuality of the paper is caused by necessity to expand the mineral resource base for Sn and W in Primorye. The process of ore content in the Stlannikov ore occurrence was considered where, along with W and Sn, rare metal mineralization (Li, Be, Mo, Bi, P, Ti, Rb, Zr, Ba, and Ta) was revealed. Here for the first time the autogreisen stage was defined, and its geochemical characteristics are given. The presence of high contents of radioactive elements Th and U, as well as elevated amounts of rare earth elements (REE) of the Ce and Y groups were established. A radioactive mineral – thorianite – was found in association with REE of the Ce group. The accessory mineral xenotime contains heavy REE of the Y group, which are recommended for a separate extraction of the object. Mineralogical zonation was determined. First evidence on the supra-ore – upper ore level of the erosion section in different areas of the ore manifestation was obtained. The sequence of deep searches of the first and second stages has been set.

Key words: actuality, tin, Sn, W, rare metals, complexity, radioactive minerals, REE, prediction, Primorye.