

Спокойнинское вольфрамовое месторождение

А.М. Гребенников

Спокойнинское вольфрамитовое месторождение локализовано на восточном фланге Хангилайского рудного поля в широтной Этыкинской редкометалльной зоне (VI) (рис. 1, 2), Орловское месторождение — на пересечении с субмеридиональной северо-западной Спокойнинско-Шерловогорской зоной (II). В 1939 г. с момента открытия Спокойнинского вольфрамитового месторождения начаты поисковые и предварительные разведочные работы по прослеживанию вольфрамитоносных кварцевых жил среди протерозойских песчаников и верхнеюрских мусковитовых гранитов. С этого же времени старателями начата добыча вольфрамитового концентрата Спокой-

нинской артелью треста "Востсиболово" МЦМ. Официально открытие рудника Спокойнинский относится к апрелю 1940 г. Активные разведочные работы проводил Вадим Александрович Орлов с 1953 по 1960 г.

Спокойнинское месторождение связано с одноименным куполовидным выступом — штоком гранитов верхнеюрского возраста (J3) Хангилайского массива, его характерной особенностью является концентрически зональное асимметричное расположение метасоматически измененных разновидностей гранитов как в плане, так и на глубину.

Спокойнинский куполовидный выступ интрузива

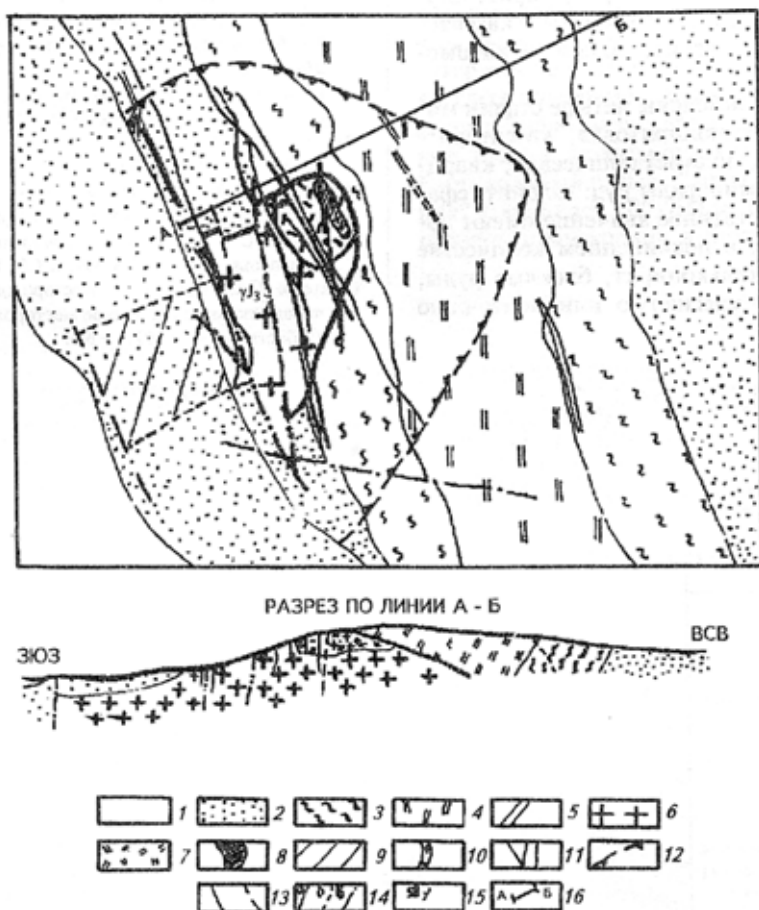


Рис. 1. Геологическая карта Спокойнинского вольфрамитового месторождения (составители: И.Я.Смульский, В.А.Орлов, В.В.Аристов, И.И.Четырбоцкая):

1 — четвертичные отложения; 2 — серицито-кварцевые сланцы с линзами полимиктовых песчаников; 3 — кварцево-биотитовые сланцы с прослоями и линзами глинистых сланцев и песчаников; 4 — серицито-кварцевые сланцы с прослоями и линзами алевритов, углисто-хлоритовых сланцев; 5 — дайки лампрофиров; 6 — граниты средне- и мелкозернистые мусковитовые грейзенизированные; 7 — грейзены кварц-мусковитовые; 8 — кварцевое ядро; 9 — граниты, предполагаемые под рыхлыми отложениями; 10 — дайки аплитов, пегматоидных гранитов; 11 — кварцевые жилы; 12 — контур распространения измененных пород; 13 — разрывные нарушения: а — установленные, б — предполагаемые; 14 — геологические границы: а — установленные, б — предполагаемые, в — четвертичных отложений; 15 — элементы залегания; 16 — линии геологических разрезов

имеет на поверхности изометричную, слабо удлиненную в северо-западном направлении, форму и занимает площадь около 0,6 км² на дневной поверхности, с расширением на глубокие горизонты.

Контакты его погружаются в сторону вмещающих пород на востоке и юго-востоке под углами 20-25°, на юге и севере 35-40°. Западное крыло массива взброшено по серии тектонических нарушений меридионального простирания, падающих на запад под углом 50-60°.

Линия контакта осложнена многочисленными дайками и апофизами гранитов, проникающими во вмещающие сланцы.

Спокойнинский гранитный купол имеет сложное внутреннее строение (см. рис. 1, 2), обусловленное сочетанием в его пределах в различной степени измененных пород с кварцевыми и кварц-полевошпатовыми телами, шлирами, жилами и прожилками, имеющими подчиненное значение. Основная часть апикальной зоны массива сложена интенсивно альбитизированными и грейзенизированными гранитами, содержащими послойные линзовидные ветвистые тела, где максимально развиты кислотные фации грейзенов стадии выщелачивания (мусковит-

кварцевые, кварцевые) с гнездами и линзами грейзенов; стадии осаждения вольфрамитсодержащих топазовых, мусковитовых, альбит-мусковитовых и микроклин-мусковитовых гранитов. Асимметричное строение гранитного купола определило развитие грейзеновых фаций максимального замещения в зоне восточного и юго-восточного контакта, в то время как в западной части массива, характеризующейся более крутым падением кровли купола, распространены породы, сравнительно слабо замещенные. Здесь, по существу, локализуются исходные вольфрамитсодержащие граниты с низким содержанием 1,5-490,0 г/т вольфрамита.

На глубину фации грейзенов максимального замещения также постепенно сменяются слабо грейзенизированными альбитизированными мелко- и среднезернистыми гранитами. Нижние горизонты массива сложены крупнозернистыми микроклинизированными гранитами с серебристым мусковитом, прослеженным до глубины 450 м (см. рис.2).

В пределах массива четко проявлена вертикальная метасоматическая зональность.

По данным В.В.Дистлера (1967), от прикровельной части в глубь массива намечается следующая

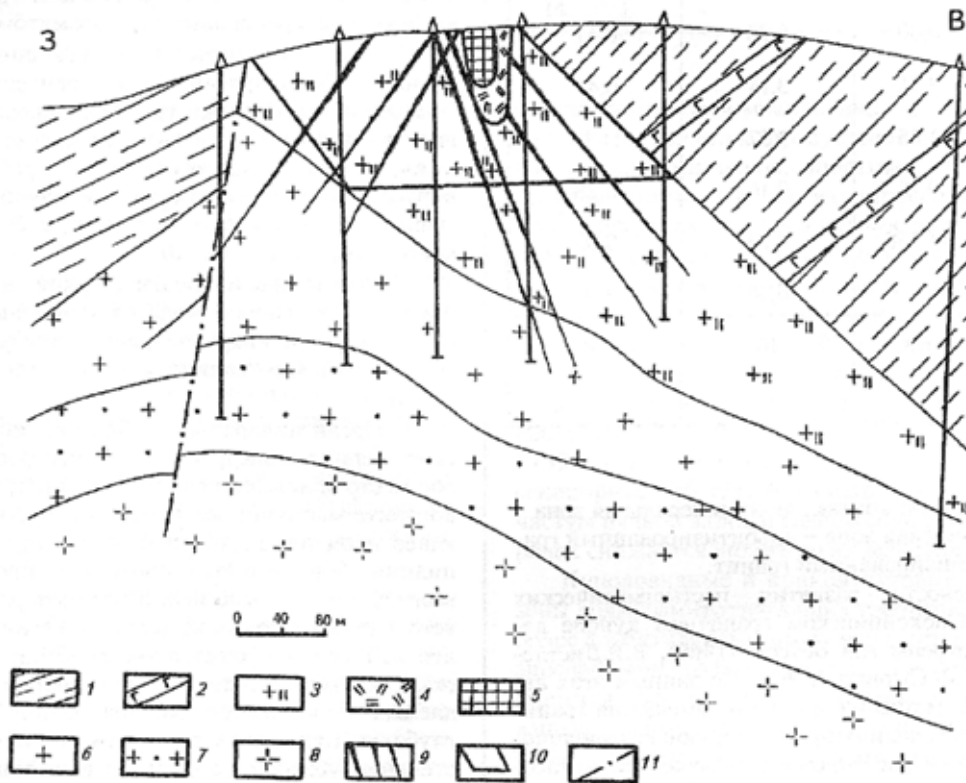


Рис. 2. Геологический разрез по Спокойнинскому вольфрамитовому разведочному профилю V-V:

1 - серицито-кварцевые сланцы с прослоями алевролитов; 2 - дайки лампрофиров (догранитные); 3 - средне-мелкозернистые альбитовые интенсивно грейзенизированные граниты и грейзены (рудная залежь); 4 - грейзены кварц-мусковитовые в обрамлении кварцевого ядра; 5 - кварцевое ядро с прожилками зеленого мусковита, вольфрамита и лучистого "солнцевидного" берилла; 6 - разнозернистые плагиоклаз-микроклиновые слабо грейзенизированные граниты; 7 - крупнозернистые плагиоклаз-микроклин-мусковитовые граниты, мусковит серебристо-белый; 8 - порфиroidные двуслюдяные и биотитовые граниты с микрокристалликами вольфрамита; 9 - кварцевые жилы с вольфрамитом; 10 - контур подсчета запасов WO₃ (Орлов, Антишев, 1960); 11 - зоны тектонических нарушений - взбросы

Таблица 1

Химический состав потенциально рудоносных на вольфрам гранитов, апогранитов и грейзенов с вольфрамом и бериллием, %

Компоненты	Порфи- ровид- ные биотито- вые гра- ниты	Апограниты	Грейзены
		альбитизи- рованные и грейзенизи- рованные	мусковито- вые с вольфрамитом
SiO ₂	73,49	73,58	48,1
TiO ₂	0,22	0,08	0,05
Al ₂ O ₃	13,34	15,67	25,85
Fe ₂ O ₃	0,66	0,49	0,65
FeO	1,63	1,23	0,50
MnO	0,05	0,12	0,356
MgO	0,32	0,34	0,78
CaO	0,80	0,78	0,47
Na ₂ O	3,71	3,14	0,49
K ₂ O	4,45	3,37	11,26
P ₂ O ₅	0,15	0,16	0,28
Li ₂ O	0,0258	0,03	0,03
F	0,135	0,34	0,1
Число опреде- лений	69	16	28

смена образований: контакт-мономинеральная зона – кварц-мусковитовая зона – альбитизированный гранит-микроклинизированный гранит.

Закономерности развития постмагматических процессов в Спокойнинском гранитном куполе детально рассмотрены А.А.Беусом (1960), В.В.Дистлером (1967), Л.Ф.Сырице (1967). По данным этих авторов, процесс метасоматического замещения гранитов проходил в условиях прогрессирующего увеличения кислотности растворов с образованием метасоматической колонки, характерной для процесса высокотемпературного постмагматического выщелачивания.

Выделение минералов происходило в последовательности, обратной выносу слагающих их компонентов (при увеличении щелочности остаточных растворов, которые выносятся в виде сильных оснований из вмещающих пород, (Al – Na – K): мусковит – альбит –

микроклин. По масштабу и интенсивности процесс осаднения проявлен значительно слабее по сравнению с процессом выщелачивания. Особое место занимают в апикальной части кварц-полевошпатовые жилы и большинством исследователей они отождествляются с пегматитоподобным кварц-полевошпатовым телом; они являются наиболее ранними образованиями месторождения и пересекаются кварц-вольфрамитовыми жилами.

Фациальная зональность гранитоидов (снизу вверх), слагающих Спокойнинский куполовидный шток, по данным В.Ф.Ефимова, Н.А.Акелина, О.Б.Голубенко (1990), выглядит следующим образом:

1. Крупнозернистые плагиоклаз – микроклиновы, порфиробластовые, порфировидные мусковитовые граниты, иногда с фациями гранит-порфиров. Слюда 6-10%, серебристая и реже зеленая. Вольфрамит образует изометричные кристаллы размером до 0,1-0,5 см (табл. 1, 2).

2. Неравномернозернистые и среднезернистые плагиоклаз-микроклиновы с серебристой и яблочно-зеленой слюдой-фенгитом (собственно рудная залежь). Альбитизация и грейзенизация проявлены довольно интенсивно (содержание слюды 13-18,7%). Отмечаются фации порфиробластовых гранитов с тонко- и крупновкрапленным вольфрамитом.

3. Среднезернистые и мелкозернистые интенсивно альбитизированные и грейзенизированные микроклин-альбитовые граниты нередко переходящие в кварц-мусковитовые грейзены. Рудная залежь, отмечающаяся высоким содержанием тонковкрапленного вольфрамита, сменяющаяся зонами выщелачивания и каолинизации, с более низкими концентрациями (табл. 3).

Слюда мусковит-фенгит, яркая, яблочно-зеленая, 21-26%, сопровождается кварцевыми жилами, прожилками и кварц-полевошпатовыми телами, с вольфрамитом и "солнцевидными" кристаллами берилла.

4. Среди минеральных образований Спокойнинского берилл-вольфрамитового месторождения особое место занимает кварц-полевошпатовое тело, на контакте массива с вмещающими породами, венчающее окончание длительного процесса дифференциации. Оно является критерием продуктивности всего гранитного массива. В миниатюре здесь можно встретить крупнозернистые фации гранитоидов с более отчетливо проявленной полосчатой зональностью, альбита, мусковита, вольфрамита, сопровождаемых бериллиевой минерализацией. На более глубоких горизонтах вольфрамовое оруденение постепенно убывает до полного исчезновения. Резко возрастает роль сульфидов.

5. Второй морфологический тип оруденения на месторождении – кварцевые жилы и прожилки с вольфрамитом получил слабое распространение и концентрирует первые проценты запасов трехоксида вольфрама. Они развиты как в пределах массива гранитов, так и в породах кровли, особенно на западном фланге месторождения, в которых распрост-

Таблица 2

Количественный состав вольфрамита и аксессуарных минералов, г/т, в грейзенизированных мусковит-альбитовых гранитах Спокойнинского месторождения

Интервалы, м от контакта	0 - 50	50 - 100	100 - 150	150 - 200	Мусковит с WO ₃	Калишпат с WO ₃	Горизонты 800-900 м
Минералы	Средние содержания по пробам						
Апатит	508,4	395,4	406	293	2349	978	573,3
Монацит	17,5	8,4	13,6	17,4	7,9	4,5	14,2
Флюорит	645,9	496,0	822,6	889,0	544	-	354,7
Топаз	232,8	1085,4	зн.	зн.	зн.	-	2032
Гранат	184,4	212,0	80,1	75,9	9,0	ед. зн.	158,8
Вольфрамит	5094	1143	2398,5	345,8	2075	7599	2772
Бисмутин	68,4	12,0	14,4	12,0	36,0	312	13-68,4
Сульфиды	1158	2975	106,5	3014	зн.	6,0	345,0
Число определений	10	14	12	14	-	-	251

раняются на расстояние до 400-500 м от массива. Всего известно 18 кварцевых жил длиной по простиранию от десятков метров до 600 м.

6. Кварцевые жилы с вольфрамитом, отнесенные к третьей группе, нередко ассоциируют с грейзенами осаждения. Соотношение этих метасоматических образований и жил свидетельствует о более позднем образовании последних. Центральная часть и глубокие горизонты штока представлены крупнозернистыми, порфиридовидными и порфиробластовыми мусковитовыми гранитами, гранит-порфирами существенно микроклинизированными. Слюда серебристая и реже зеленая.

Абсолютный возраст определялся по мусковиту из кварц-мусковитового грейзена и равен 147 ± 5 млн лет (Демидова, 1973) и по мусковиту из кварц-вольфрамитовой жилы - 135 ± 5 млн лет (Дистлер, 1967).

По существу, начало вольфрамитового оруденения связано с этой фациальной разностью гранитов при их слабо проявленной начальной, скорее всего, локальной альбитизации и грейзенизации. Содержание вольфрамита колеблется в них в широких пределах от 5,1 до 1458 г/т и знаменует собой переход от монацитсодержащих в апатитсодержащие граниты, сопровождаемые флюоритом 684 г/т, рутилом 20 г/т, гранатом 72 г/т, топазом 141,6 г/т и висмутином 17,8 г/т, свыше 200 м от дневной поверхности.

В направлении к верхним горизонтам крупнозернистые граниты контактируют со среднезернистыми микроклин-альбитовыми мусковитизированными и грейзенизированными гранитами. Эта разновидность среднезернистых и неравномернозернистых гранитов

с порфиробластами микроклина, альбита и зеленого мусковита является продуктивной и составляет с вышележащими мелкозернистыми интенсивно грейзенизированными и альбитизированными гранитами с кварцевыми жилами рудную залежь месторождения. Содержание апатита постепенно возрастает в направлении к верхним апикальным частям залежи с 566 г/т (на глубинах 50-100 м от контакта) до 788 г/т в интервалах от 0 до 50 м, среднее 444-502 г/т. Они сопровождаются повышенными концентрациями вольфрамита - 2606-5283 г/т, среднее - 3944 г/т, флюорита 379-769 г/т, граната 26-75 г/т, топаза 1739 г/т, висмутина 24-249 г/т, пирита 218 г/т, арсенипирита 130 г/т. В направлении к апикальным частям рудной залежи содержание сульфидов на порядок снижается вплоть до их исчезновения.

Куполовидные и приконтактовые части рудной зоны вольфрамитсодержащих гранитов сложены наиболее альбитизированными и существенно грейзенизированными разностями тех же среднезернистых гранитов, переходящих в интенсивно грейзенизированные граниты и грейзены, а также в кварц-мусковитовые слюдиты, их мощность от проводников до первых десятков метров, образуя линейные залежи и причудливые овальные, ветвистые, заливообразные по трещинам скопления ярко-зеленого мусковита-фенгита. Грейзены отличаются максимальным развитием апатита 2349 г/т, флюорита 544,5 г/т, граната 9,0-95,0 г/т, вольфрамита 2074,9 г/т, кассетерита 13,5 г/т, колумбит-танталита 9,0 г/т, висмутина 36 г/т, турмалина 40,5 г/т, монацита 4,5 г/т с обособ-

Таблица 3

Зональное распределение вольфрама и редких элементов в метасоматически измененных гранитах, г/т, Спокойнинского вольфрамитового месторождения

Название массива, гранитов	Число анализов	Nb	Ta	$\frac{Nb}{Ta}$	Be	F, %	Sn	W
Мусковитовые и грейзенизированные, альбитизированные (по В.Н.Зуеву)	48		27,2		48,6	0,34		1522
Мусковитовые и грейзенизированные (апикальных частей штока)	74	41	12	3,4	85	0,10	100	2600
Мусковитовые и грейзенизированные (на глубоких горизонтах)	20	24			50	0,15	27	600
Грейзенизированные и альбитизированные (валовая проба 300 т, Иргиредмет)	1	56	24	2,34	97,2		140-160	2220
Крупнозернистые мусковитовые (по данным В.В.Дистлера)	127	50	40	1,25	74		40	310
Кварц-мусковит-альбитовые (по данным В.В.Дистлера)	76	250	72	1,25	93	1,25	100	1420
Кварц-мусковитовые грейзены (по данным В.В.Дистлера)	64	90	40	2,25	120		140	1710

лением мономинеральных вольфрамитовых прожилков 3-5 см.

Нередко грейзены и слюдиты в приконтактовой и приразломной части интенсивно каолинизированы.

В верхней апикальной части месторождения развито зональное кварц-полевошпатовое тело. Ядро сложено кварцем с вольфрамитом, в обрамлении крупных кристаллов микроклина, альбита, берилла и мусковитовой оторочки. Нередко центральные части выполнены прожилками вольфрамита мощностью от 0,5 до 5,0 см. Шлиры кварц-полевошпатовых пегматоидных образований локализованы и на нижних горизонтах, но с менее развитой вольфрамовой минерализацией. Минералогически кварц-полевошпатовые тела отличаются мономинеральностью, развитием литиевых слюд, сопровождаются апатитом 978 г/т, вольфрамитом 7599 г/т, касситеритом 3 г/т, бисмутином 312 г/т, пиритом 6 г/т и бериллом.

Вольфрамовое оруденение связано с гранитами, интенсивно затронутыми процессами грейзенизации и альбитизации, и приурочено к апикальной прикоровельной части массива. Степень проявления этих процессов непосредственно влияет на интен-

сивность содержаний вольфрама. Максимальные содержания до 0,66-0,88% триоксида вольфрама наблюдаются непосредственно в зоне контакта и по мере затухания грейзенизации на глубину, промышленное оруденение вольфрама глубже 140-160 м практически исчезает. В то же время вольфрамит в собственной форме развивается с глубин свыше 400-600 м, в порфиридных биотитовых гранитах постепенно биотит замещается мусковитом. Вольфрамит в виде мелких призматических кристаллов размером от 1-3 до 5 мм в грейзенизированных гранитах и грейзенах образует в мелкозернистой породе довольно равномерную вкрапленность. Вольфрамит в грейзене тесно ассоциирует с кварцем и серым мусковитом, замещающимся зеленой слюдой, где он развивается вдоль спайности. В порфиридном граните и гранит-порфирах (образец 237), а также в грейзенах развиты процессы сегрегации и перекристаллизации, приводящие к гнездовым скоплениям вольфрамита.

Вольфрамит 1-й генерации является акцессорным минералом крупнозернистых мусковитовых гранитов, образованных по исходным порфиридным биотитовым гранитам. Нередко реликты биотита в центре чешуек мусковита наблюдались на горизонтах ниже 850 м. Кристаллы вольфрамита отмеча-

лись в свободной форме и в виде микросростков 0,05-0,1 мм в породообразующих минералах, редко достигая 1-3 мм, особенно в избытке они наблюдаются в серебристых и зеленых слюдах. Эта генерация вольфрамитов имеет лишь минералогическое и генетическое значение (см. табл. 2, 3).

Вольфрамит 2-й генерации развит в виде тонких 0,5-3,0-мм вкрапленников в породообразующих минералах, занимая их центральные части или в обрамлении полевого шпата, кварца, слюды и в акцессорных минералах в виде тончайших микропластинок, он преобладает в рудах III, IV и V сортов, составляя 34-36% в грейзенизированных и альбитизированных гранитах.

Вольфрамит 3-й генерации более крупнозернистый, локализован в межзерновых пространствах породообразующих минералов средне- и мелкозернистых грейзенизированных гранитах и грейзенах, составляя основную часть вольфрама месторождения (64%), и преобладает в рудах I и II сортов по обогатимости. Размер кристаллов колеблется от 0,5-5,0 мм, редко до 3-5 см.

Вольфрамит 4-й генерации образует прожилки сплошных и отдельных крупных кристаллов в длину 8-15 см в кварц-полевошпатовых образованиях апикальной части штока с кристалликами колумбит-танталита.

Размеры кристаллов вольфрамитов в кварцевых жилах (5-я генерация) достигают в длину 5-20 см, образуя двойники и их сростки, иногда встречаются монокристаллические образования до 20х40 см. Удельный вес триоксида вольфрама этой генерации не превышает 2%. С ними связаны тонковкрапленные кристаллы колумбит-танталита. Часть же тантала и ниобия находится в виде изоморфной примеси в вольфрамите (до 22%), последние вполне извлекаемы. По высокому содержанию тантала и ниобия (0,5-1,0%) в вольфрамитовых Спокойнинского вольфрамитового месторождения они не имеют себе равных аналогов в подобных месторождениях России. На глубинах свыше 80-120 м кварцевые жилы с вольфрамитом встречаются все реже вплоть до их исчезновения.

По технологическим свойствам вольфрамитосодержащие руды Спокойнинского месторождения четко разделяются на пять сортов и типов, что находит свое выражение не только в параметрах извлечения, но и минералогической и качественной характеристике черновых концентратов.

Технологические и минералогические исследования проводились по пятнадцати горизонтам с 780 по 920 м с различной детальностью, по 14 разведочным линиям (с I по XV) и по 76 опробованным скважинам. Пробы без перерыва составлялись по 10-м интервалам, соответствующим тому или иному горизонту выработки. Наиболее детальные исследования проводились по восьми горизонтам с 890 до 820 м группой геолого-технологического картирования руд Орловского ГОКа с 1985 г.

Высокую продуктивную значимость представляют руды I и II сортов с точки зрения содержаний

Таблица 4

Извлекаемость вольфрама из породообразующих минералов различных структурных типов гранитов и грейзенов Спокойнинского месторождения, %

Тип породы	Извлечение	
	Данные ЛГУ 1987 г.	Данные Орловского ГОКа
“Полосчатый” гранит	70	75
Мелкозернистый гранит	59	60-70
Среднезернистый гранит	49	60
Крупнозернистый гранит	42	52
Слюдяной грейзен	36	46
Среднее по гранитам месторождения	51	59,6

0,275-0,264% триоксида вольфрама и легкообогатимости соответственно – 75-65%, при среднем извлечении по ним 66%, и значительном удельном весе их руд – 64,6% по месторождению. Межзерновая локализация вольфрамитов среди породообразующих минералов явилась наиболее благоприятной гранулометрической формой для технологического переработки руд (табл. 4, 5, 6 и 7).

Легкообогатимые руды I и II технологических сортов, образующие монолитность и сплошность плащеобразной рудной залежи, как бы осложняются включениями в них в виде ленточных зон руд более низших III и IV технологических сортов. Последние локализуются как в приконтактной части, так и внутри основной залежи, осложненные тектоническими подвижками, сопровождаемые зонами каолинизации различной мощности и интенсивности, что резко снижает их технологические показатели. Происходит механическое геохимическое изменение гранулометрических форм вольфрамитов, частичное окисление и выщелачивание железа, в конечном итоге разрушение минерала с образованием мигрирующих охр тунгстита и ферритунгстита.

Образование микросростков вольфрамитов внутри породообразующих минералов, характерных для III и IV сортов руд, труднообогатимые и удовлетворительные, но менее благоприятные для технологической переработки.

Извлечение по III и IV сортам руд соответственно составляет 57,5-47%, среднее 50% триоксида вольфрама, удельный вес руд 35,4%. Как правило,

Таблица 5

Средние содержания вольфрама и редких элементов в аксессуарных и рудных минералах, г/т, в вольфрамитсодержащих гранитах-апогранитах и грейзенах (J₃) Спокойнинского месторождения

Элементы	Число проб	Ta	Nb	W	Sn
Минералы:					
полевые шпаты	41	-	20	40-160	7,2
апатит	7	64	126	1000	170
циркон	1	76	210	1000	1000
вольфрамит в гранитах	67	3041	4970	59,8%	130-581
вольфрамит в кварцевых жилах	27	2051	4326	59,8%	1340
флюорит	-	-	140	1000	20
топаз	Техн. проба	56	105	474	-
рутил	-	243	700	2300	-
гранат	3	1230	5000	3000	1600
русселит	-	122,5	532	208004	396
бисмутит	3	24	315	103090	390
Среднее по сульфидам	23	-	-	3500	100

тонковкрапленные вольфрамиты типичны для III и IV сортов руд с содержаниями 0,201 и 0,157% триоксида вольфрама.

Пространственно обособленное положение занимают руды V технологического сорта руд, упорные и очень труднообогатимые. Они локализованы в приразломных зонах западного фланга месторождения, занимающая третью часть всей рудной залежи – 216 м при длине 448 м. Руды перетертые, раздробленные и каолинизированные. Вольфрамит окислен с образованием охр тунгстита и ферритунгстита.

Извлечение по V сорту руд редко превышает 25,6-28% триоксида вольфрама при низких 0,1-0,12% его содержаниях, иногда опускаясь до 0,08%.

Руды V сорта складываются, так как их передел при современных технологических условиях нерентабелен. Их удельный вес составляет всего 11%.

Поминеральный баланс распределения вольфрама в грейзенизированных мусковитовых альбитовых гранитах и грейзенах Спокойнинского вольфрамитового месторождения по пяти технологическим сортам руд и оруденелым гранитам (см. табл. 7).

Поминеральный баланс проведен для выяснения соотношений между концентрированной и рассеянной формами нахождения вольфрама. На вольфрам анализировались все породообразующие, аксессуар-

ные минералы и сульфиды рудоносных гранитов (табл. 8), элементы-примеси в минералах.

Подсчитанный поминеральный баланс распределения вольфрама в изучаемой руде – 94,98%, всего вольфрама сосредоточено с одним собственным минералом-вольфрамитом, слюдах-мусковитах 3,31-3,91% триоксида вольфрама в виде микропластинок и точечных микровкраплений вольфрамита, в полевых шпатах и кварце 0,9-0,98%, в аксессуарных минералах 0,27-0,34% и сульфидах 0,47-0,52% триоксида вольфрама. Все это создает благоприятные условия и позволит извлечь не менее 1-2% триоксида вольфрама, а по остальным минералам полнота извлечения может быть достигнута лишь при гидрометаллургическом переделе, включая шламы нынешнего хвостохранилища.

Диапазон концентрации вольфрама в слюдах наиболее широк и находится в зависимости от степени метасоматического преобразования, кислотности – щелочности среды минералообразования вольфрамита. Время кристаллизации основной массы вольфрамитовых минералов совпадает с завершением ранней стадии грейзенизации, представленной процессом серицитизации плагиоклаза. Основной причиной выпадения вольфрамита в твердую фазу явилось, по-видимому, увеличение кислотности, обусловленное удалением из растворов сильного основа-

Средние содержания вольфрама и редких элементов в слюдах – минералах-носителях и концентраторах, г/т, в рудоносных гранитах-апогранитах и грейзенах Снокойнинского месторождения

Элементы	Число проб	Ta	Nb	W	Sn	Li
Минералы:						
биотит	15	50	245	134,2	374	1486
биотит (Хангилай)	19	58,6	273	91-145,8	235-295	1564
биотит мусковитизированный	4	66,7	220	113,7	384	1961
мусковит нижних горизонтов	39	73	179	177-137-97	1750	1070
мусковит верхних горизонтов	57	80	262	190,8-481(5)	400-1250	706
слюды смешанные: мусковит (белый и зеленый), горизонт 940-620 м	327	60	168	285,5	372-1062	610
мусковит, горизонт 920-620 м	71	70	170	270	390-1187	590
"темная слюда"	4	-	-	263-963-2447,5	50	30000
мусковит из "пштокшейдера"	10	615	594	64,5	-	-
мусковит серебристо-белый I генерации	24	270	336	239	46,3	1062
мусковит яблочно-зеленый II генерации	12	23-65	50,7-252	59,5-130-498	387	489

ния – калия в результате связывания его в составе мусковита (Барабанов, 1961; Булдаков, 1964). Итак, возвращаясь к распределению, а вернее, концентрированию вольфрама в слюдах, следует отметить, что в вольфрамсодержащих гранитах слюды в 3-5 раз и на порядок выше концентрируют вольфрам по сравнению с невольфрамоносными гранитами. Далее по мере усиления процессов кислотного выщелачивания и увеличения продуктивности гранитов наблюдается рост содержания вольфрама в мусковитах. По данным ЛГУ 1987 г. (В.Ф.Барабанов, Л.Г.Виноградова и др.), содержания вольфрама в ранних серебристо-белых мусковитах из "полосчатых" гранитов составляют 62 г/т, в крупнозернистых – 140 г/т, в среднезернистых – 285 г/т, в мелкозернистых гранитах – 265 г/т, в слюдяных грейзенах – 381,75 г/т. В поздних яблочно-зеленых мусковитах – апикальных и гребневидных частях массива содержание вольфрама увеличивается до 498-679,8 г/т в мусковитах мелкозернистых гранитов. В "темных"

мусковитах они наиболее высокие – 2447,5 г/т вольфрама.

По данным А.М.Гребенникова, в мусковитах верхних горизонтов содержание вольфрама составляет 190,8-481 г/т, на нижних горизонтах – 227 г/т. В мусковитах по горизонтам 940-620 м (по 327 пробам) содержание вольфрама колеблется от 180 до 285,5 г/т. В апатите, цирконе, флюорите и топазе содержание вольфрама достигает 1000 г/т в каждом, а в рутиле, турмалине они составляют 2000-2300 г/т (см. табл. 6).

Среднее содержание вольфрама в сульфидах – 3500 г/т, наибольшее в галените – до 5000 г/т. Избыточное содержание вольфрама в зеленых слюдах грейзенов, мелкозернистых порфиридных и среднезернистых альбит-мусковитовых гранитах благоприятствовало более полному выпадению собственного вольфрамита и вольфрамсодержащих висмутовых минералов в ассоциации с ранним тонковкрапленным бериллом.

Таблица 7

Средние содержания вольфрамита и аксессуарных минералов, г/т, в грейзенизированных мусковитовых алтбитовых гранитах и грейзенах Спокойнинского вольфрамитового месторождения по технологическим сортам обогатимости руд

Сорт руды	I >72%	II 60-72%	III 55-60%	IV 35-55%	Среднее по I, II, III, IV сортам руд
Минералогический состав:					
вольфрамит свободный	2641,0	2042,9	1441,5	1134,7	1814,8
вольфрамит в сростках	644,5	720,7	575,8	502,0	610,8
шеелит	7,1	2,6	10,0	1,6	5,3
гранат	117,8	171,7	139,8	190,4	154,9
апатит	556,7	595,5	379,8	363,0	473,8
монацит	-	21,8	60	0,87	14,7-27,6
топаз	1833,4	2000,9	1744,8	1632,4	1802,9
сульфиды	741,5	293,7	599,1	546,6	545,2
циркон	11,4	57,2	10,6	7,3	21,6
турмалин	225,3	156,6	19,2	4,0	101,2
флюорит	405,0	356,1	412,2	309,6	356,9
Массовая доля, %, сростков вольфрамита к свободному	24,4	35,28	39,94	44,24	33,66
Число технологических проб	22	114	49	88	273

Наиболее полное очищение мусковитов от избыточного содержания вольфрама в яблочно-зеленых мусковитах происходит в грейзенах и слюдитях, опускаясь до 61-78 г/т, вследствие чего в грейзенах вольфрамит более обилен, образуя агрегатные скопления. Остальная часть вольфрама (95%) заимствуется на образование собственных минералов вольфрамита и реже шеелита.

Вольфрамитсодержащая рудная залежь ориентирована в меридиональном направлении, прослеживается до 600 м, в среднем 448 м, в широтном – до 320 м, в среднем 216 м. Вдоль контакта с вмещающими песчаниками прослеживается по падению на 240-320 м, по вертикали от дневной поверхности (в купольной части штока) до 140-160 м. Из них 1/3 объема руды приходится на граниты с содержанием триоксида вольфрама ниже 0,12%-0,1%, последние обособлены как внутри рудной залежи по каждому горизонту, так и на западном взброшенном фланге (см. табл. 8).

Образованию рудной залежи предшествовали волнообразные изменения кислотности – щелочно-

сти среды минералообразования (рН) постмагматических растворов, на фоне постепенного снижения температуры.

Количество железа, магния, марганца и вольфрама в мусковитах – носителях и концентраторах рудных элементов, главным образом вольфрама, изменяется также волнообразно, при минимальном количестве их в мусковитах стадии позднего отложения и последующем повышении содержания в постгрейзеновых месторождениях, по И.И.Куприяновой (1989). При этом изоморфные формы рассеяния вольфрама в мусковитах не характерны или полностью отсутствуют и связаны с ними в виде микровключений самостоятельных фаз и форм.

Таким образом, зоны раннего кислотного выщелачивания по вертикали и горизонтали пространственно сопряжены с зонами более позднего отложения вольфрамита и других рудных минералов. Вольфрамиты в свою очередь дифференцированы по генерациям образования и формам кристаллизации: так, в межзерновых пространствах силикатов и кварца формируется вольфрамит более крупный, по

Таблица 8

Минеральный состав по типам продуктивности и сортам руд, вольфрамитсодержащих альбит-мусковитовых гранитов и грейзенов, на горизонтах 710-930 м Спокойнинского месторождения

Тип руды	Горизонт, м	Число проб	Вольфрамит свободный	Вольфрамит в сростках	Апатит	Моноцит	Флюорит	Топаз	Гранат	Сульфиды	Отношение апатита к моноциту
Некондиционные, 0,12% WO ₃	710-930	104	542,8	223,4	317,2	17,4	599,3	985,3	146,4	1010,7	18,2
Кондиционные, 0,12% WO ₃	800-900	195	2059,2	712,8	573,3	10,8	354,7	2031,9	158,8	345,0	53,0
Кондиционные, 0,12% WO ₃	880-910	38	2562,5	1033,2	569,8	7,73	236,1	2234,5	134,5	10,4	73,6
Кондиционные, среднее по I-IV сортам руд 0,12% WO ₃	890-820	204	1795,9	633,8	502,5	10,3	365,3	1739,2	154,4	454,7	55,6
V сорт, некондиционный	890-820	11	418,5	175,3	516,9	27,6	285,0	1263,8	134,1	848,0	18,7

технологии извлечения соответствует легкообогащаемым I и II сортам руд. А вольфрамиты относительно более мелкие с включениями в породообразующие минералы (мусковиты, кварц, полевые шпаты, акцессорные минералы и сульфиды) формируют частично II и полностью III и IV сорта руд. Тонковкрапленные руды наиболее типичны для III и IV сортов, удовлетворительно обогащаемые (см. табл. 7, 8).

И наконец, в зонах тектонических нарушений на западном фланге месторождения в гранитах развиты очень труднообогащаемые окисленные формы вольфрама V сорта руд и их охры – тунгстит и ферритунгстит.

Литература

- Аристов В.В., Смульский И.Я. Структура и условия образования интрузива рудоносных мусковитовых гранитов // Изв. вузов. Сер. геол. и разв. – 1961. – № 9. – 25-41 с.
- Барабанов В.Ф., Гончаров Г.Н., Виноградова Л.Г., Юдина Л.И., Долгушина И.С. и др. Промежуточный отчет на тему "Минералого-геохимическое изучение различных типов эксплуатируемых и подготавливаемых к эксплуатации месторождений вольфрама и разработка рекомендаций по повышению их комплексного, рационального использования и охране окружающей среды". – ЛГУ, 1987.
- Барабанов В.Ф. Минералогия и генезис вольфрамитовых месторождений Восточного Забайкалья. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1961. – 360 с.
- Барабанов В.Ф. К геохимии вольфрама // Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений. – Л., 1971. – С. 11-35.
- Барабанов В.Ф. Минералогия вольфрамитовых месторождений Забайкалья. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1975. – Т.2. – 360 с.
- Беус А.А., Гинзбург А.И., Заболотная Н.П. Некоторые типы пневматолито-гидротермальных месторождений бериллия // Геология месторождений редких элементов. – М.: Госгеолтехиздат, 1959. – Вып.4. – С.54.
- Беус А.А. Геохимия бериллия и генетические типы бериллиевых месторождений. – М.: ИМГРЭ, Изд-во АН СССР, 1960. – С. 329.
- Гребенников А.М. Вольфрамоносные и танталосные типы гранитов кукульбейского интрузивного комплекса в Восточном Забайкалье // Второе совещание по вольфрамовым месторождениям СССР. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1968. – С. 19-20.
- Гребенников А.М. О редкометаллической и оловянно-вольфрамовой специализации одного из гранитных массивов Забайкалья // Геология и полезные ископаемые Забайкалья. – Чита, 1966. – С. 47-54.
- Гребенников А.М. Редкометаллические типы мезозойских рудоносных гранитов оловянно-вольфрамового пояса Восточного Забайкалья: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. – Иркутск, 1972. Фонды ЧГУ.
- Гребенников А.М., Жапова С.Б. Минералого-технологическое и геохимическое картирование вольфрамитсодержащих руд Спокойнинского месторождения. Орловско-Спокойнинский рудный узел (Агинский рудный район): Отчет отделения геолого-технологического картирования руд за 1985-1992 гг. – Фонды Орловского ГОКа. Пос. Новоорловский, 1993.

- Григорьев И.Ф. Грейзены, их минералогические типы и условия образования. — М.: Бюл.МОИП, 1953. — Вып. 28. — № 1.
- Дистлер В.В. К геохимии вольфрамитов высокотемпературных редкометалльных месторождений // Минералогия и геохимия вольфрамитовых месторождений. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1967.
- Ефимов В.Ф., Акелин Н.А., Голубенко Л.Б. Отчет по теме 259 "Минералого-геохимические особенности вольфрамоносных гранитов Спокойнинского месторождения, влияющие на характер распределения полезных компонентов и обогатимость руд". — М., 1990. — Фонды ЧГУ.
- Коваленко В.И., Кузьмин М.И., Зоненшайн Л.П. и др. Редкометалльные гранитоиды Монголии. — М.: Наука, 1971. — 238 с.
- Коваль П.В., Кузнецова Л.И. Вольфрам в мезозойских гранитоидах МНР // Ежегодник 1974. — Иркутск, ГЕОХИ СО АН, 1975.
- Константинов Р.М. Основы формационного анализа гидротермальных рудных месторождений. — М.: Наука, 1973. — 212 с.
- Кузьмин М.И., Антипин В.С. Геохимическая характеристика мезозойских гранитоидов Восточного Забайкалья // Геохимия редких элементов в магматических комплексах Восточной Сибири. — М.: Наука, 1965. — С. 97-126.
- Куприянова И.И. Типоморфизм минералов: Справочник. — М.: Недра, 1989. — С. 299-312.
- Левицкий О.Д. Вольфрамовые месторождения Восточного Забайкалья // Месторождения редких и малых металлов СССР. — М.: Изд-во АН СССР, 1939. — Т. 2.
- Ляхович В.В. Акцессорные минералы в гранитоидах Советского Союза. — М.: Наука, 1967. — 446 с.
- Орлов В.А., Антипов Г.А. Подсчет запасов в трехокиси вольфрама по Спокойнинскому месторождению по состоянию на 01.07.69 г. ГКЗ, 1960 // Фонды ЧГУ и Орловского ГОКа.
- Рундквист Д.В., Денисенко В.К., Павлова И.Г. Грейзеновые месторождения. — М.: Недра, 1971. — 328 с.
- Смирнов С.С. Очерки металлогении Восточного Забайкалья. — М.: Гостеолитиздат. 1944.
- Смирнов С.С. Заметки по некоторым вопросам учения о рудных месторождениях // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1946. — № 5.
- Свижевская Н.В., Гребенников А.М. и др. Комплекс проведенных геофизических и геохимических поисковых работ на вольфрам и редкие металлы м-ба 1:10 000 на площади Орловско-Спокойнинского рудного узла с разбуриванием аномалий скважинами колонкового бурения за период с 1975-1979 гг. // Фонды ЧГУ. Забайкальская геофизическая экспедиция, 1979.
- Сырицо Л.Ф. Вольфрамовая минерализация одного из редкометалльных месторождений Забайкалья // Минералогия и геохимия вольфрамитовых месторождений. — Л.: ЛГУ, 1967. — С. 41-55.
- Четырбоцкая И.И. Вольфрамит как индикатор и новый источник танталового сырья. — М.: Недра, 1972. — 132 с.

* * *