

УДК 553.46:549.905.3(470.64)

МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ И ТИПЫ Mo-W РУД СЛЕПОЙ ЗАЛЕЖИ ТЫРНЫАУЗСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© 2019 г. Е. Н. Граменицкий^{1,*}, О. В. Кононов¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Воробьевы горы

*E-mail: engramen@geol.msu.ru

Поступила в редакцию 20.12.2017 г.

После доработки 19.06.2018 г.

Принята к публикации 27.02.2019 г.

Слепая залежь – наиболее крупное рудное тело Тырнаузского Mo-W месторождения, первоочередной объект при возобновлении его эксплуатации. Вкрапленность молибдошеелита, шеелита и молибденита, определяющая рудные концентрации, приурочена к метасоматитам продуктивной стадии, наложенным на скарны, околоскарновые породы, роговики и мраморы. Типы руд выделяются по соотношениям в них разных фаций рудоносных метасоматитов и исходных пород, являющихся для руд разубоживающей массой. Выделены и картированы на вертикальной проекции залежи семь типов руд. В I и II типах резко преобладают (70–90%) апоскарновые руды, соответственно, по эндо- и экзоскарнам. В III типе примерно поровну руд по эндоскарнам и околоскарновым породам, IV тип по сравнению с ним содержит меньше околоскарновых пород за счет роговиков. В V типе преобладают руды за счет экзоскарнов, в меньшей мере (до 25%) – мраморов. VI тип руд является промежуточным между III и IV. В VII типе почти в равной мере представлены все исходные породы. Каждый тип обладает устойчивым минеральным и химическим составом, унаследованным от исходных пород. Руды конкретного типа имеют простые отличительные признаки, удобные для документации и картирования, могут быть использованы при ручной разборке штуфов и проб, и предварительной сепарации руд. Руды имеют узкий интервал изменений размера, формы зерен рудных минералов и их сростаний, содержаний вредных для флотации минералов. Небольшие различия содержаний полезных компонентов в каждом типе руд открывают возможности их селективной отработки и шихтовки. Результаты картирования содержат материалы о распределении сопутствующих видов полезных ископаемых: граната и волластонита в скарнах и продуктивных метасоматитах, пироксен-плаггиоклазовых околоскарновых пород, гидротермально измененных пород, несущих Cu, Au и иную минерализацию.

Ключевые слова: типы руд, картирование, рудное тело Слепая залежь, месторождение Тырнауз, минеральные ассоциации, продуктивные метасоматиты, скарны, околоскарновые породы, молибдошеелит, шеелит, молибденит.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016-777061472-91>

ВВЕДЕНИЕ

Слепая залежь является одним из крупных рудных тел Тырнаузского W-Mo месторождения. Ее руды планировались в качестве основы всей добычи в 12-й пятилетке. Недавно на федеральном уровне принято решение о возобновлении эксплуатации месторождения в ближайшие год-два, причем это рудное тело будет первоочередным объектом отработки. Помимо традиционных для месторождения руд Mo и W, извлечению подлежат несколько типов попутного сырья. Со Слепой залежью в значительной части совпадает контур месторождения волластонита, которое разведывалось в нулевые годы. Ценность представляют также гранат (как абразивный материал), пирок-

сен-плаггиоклазовые породы по роговикам (сырье для производства каменного волокна), лейкократовые граниты (керамическое сырье), граниты Эльджуртинского массива, скарнированные роговики и мраморы (в качестве декоративного и облицовочного материала), наконец, сопутствующее сульфидное полиметаллическое оруденение, в том числе с золотом.

Коммерческая эффективность эксплуатации рудного тела предполагает ее комплексный и безотходный характер, в связи с чем особенно важна минералого-петрологическая характеристика руд и выделение среди них естественных или природных типов. При первоочередной важности изучения главных рудных минералов внимание необходимо

уделить также породообразующим и акцессорным, распределение которых, наряду с пространственной неоднородностью параметров вещественного состава, определяет технологию и показатели обогащения, а следовательно, и реальную обогатимость руд. Именно с недостаточной изученностью этих особенностей руд было связано ухудшение в возрастающем объеме технологических показателей обогащения в последние годы эксплуатации. Это осознавало руководство горно-обогатительного комбината тех лет. Оно привлекло для решения возникающих проблем целый ряд организаций, длительное время изучавших месторождение, в том числе коллектив кафедр минералогии и петрологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. После закрытия комбината результаты работ оказались не востребованными, а коллекции и отчеты погибли вместе с другими фондовыми материалами. Так получилось, что систематическая минералого-петрографическая характеристика рудного тела в настоящее время в публикациях отсутствует, прежние горные выработки недоступны, но в то же время в распоряжении авторов остался уникальный материал, в том числе и каменный.

Мы надеемся, что предлагаемая статья будет способствовать возрождению крупнейшего в России и эталонного во многих отношениях месторождения.

В статье приняты следующие сокращения: Amp – амфибол; Ann – аннит; Bt – биотит; Cal – кальцит; Crx – клинопироксен; Crd – кордиерит; Eas – истонит; f – железистость минералов: $Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al)$ – для граната, эпидота и $Fe/(Fe+Mg)$ – для клинопироксена, амфибола, биотита, кордиерита, хлорита; Fl – флюорит; Grt – гранат; Phl – флогопит, Pl – плагиоклаз, Qz – кварц; Sid – сидерофиллит; Ves – везувиан; Wo – волластонит.

МЕТОДИКА РАБОТ

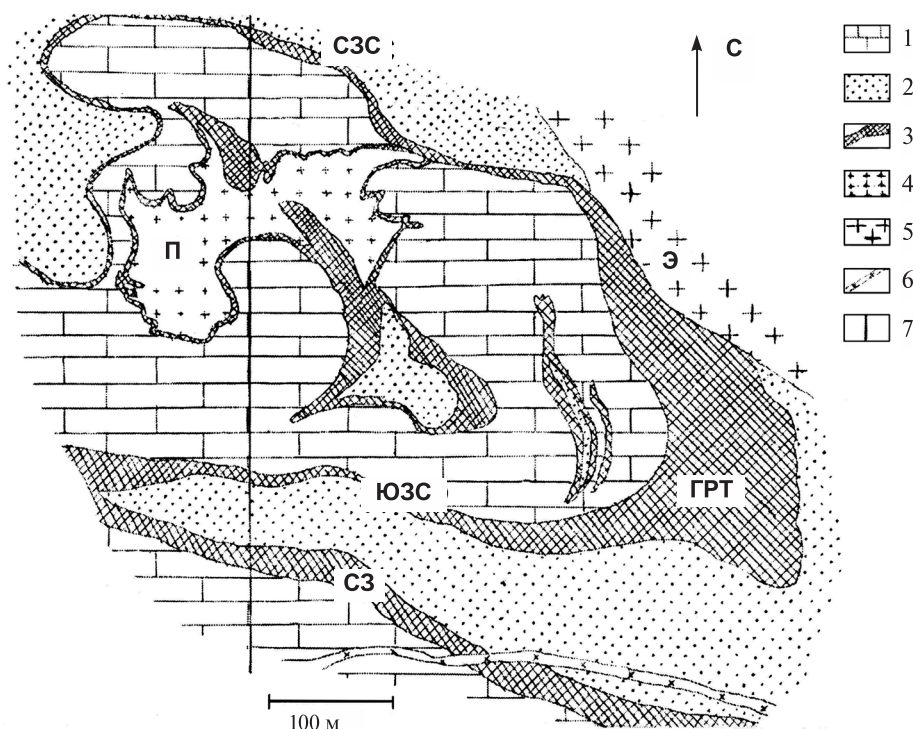
Каменный материал (образцы, а также пробы для технологических испытаний) собран в маршрутах по Мукуланскому карьере, подземным разведочным выработкам и при изучении керна скважин. Их отбор и минералого-петрографическая характеристика проб составляли первую часть исследований, которая изложена в настоящей статье. Результаты технологических испытаний здесь почти не рассматриваются. Совокупность составляющих пробы штуфов, покрывающих все сечение рудного тела, и значительный их объем (до 80 кг) обеспечивали их представительность для отдельного участка. Совокупность проб, отобранных из всех доступных в последние годы эксплуатации подземных выработок и уступов карьера, представительна для всего рудного тела. Исследования включали изучение (в основном традиционными методами)

состава и свойств рудных и породообразующих минералов с выделением минеральных ассоциаций. Обработка материала учитывала результаты, полученные ранее авторами на других рудных телах, она продолжалась в последующие годы, вплоть до настоящего времени. В каждой пробе определена количественная доля и распределение в рудном теле рудоносных и разубоживающих пород. Повышенное внимание уделено морфологической и гранулометрической характеристике вкрапленных зерен шеелита, изменчивости коэффициентов их сростаний (процентная доля сростаний с минералом от общего числа зерен) с молибденитом и породообразующими минералами. Учитывалось углубленное понимание кристаллохимии, процессов упорядочения и распада твердого раствора, полученное в результате изучения твердого раствора молибдошеелита физическими методами и экспериментальным путем (Кононов, 1972; Граменицкий и др., 1980). Использованы результаты проводившегося на рудном теле опробования на WO_3 , Mo общий и Mo сульфидный.

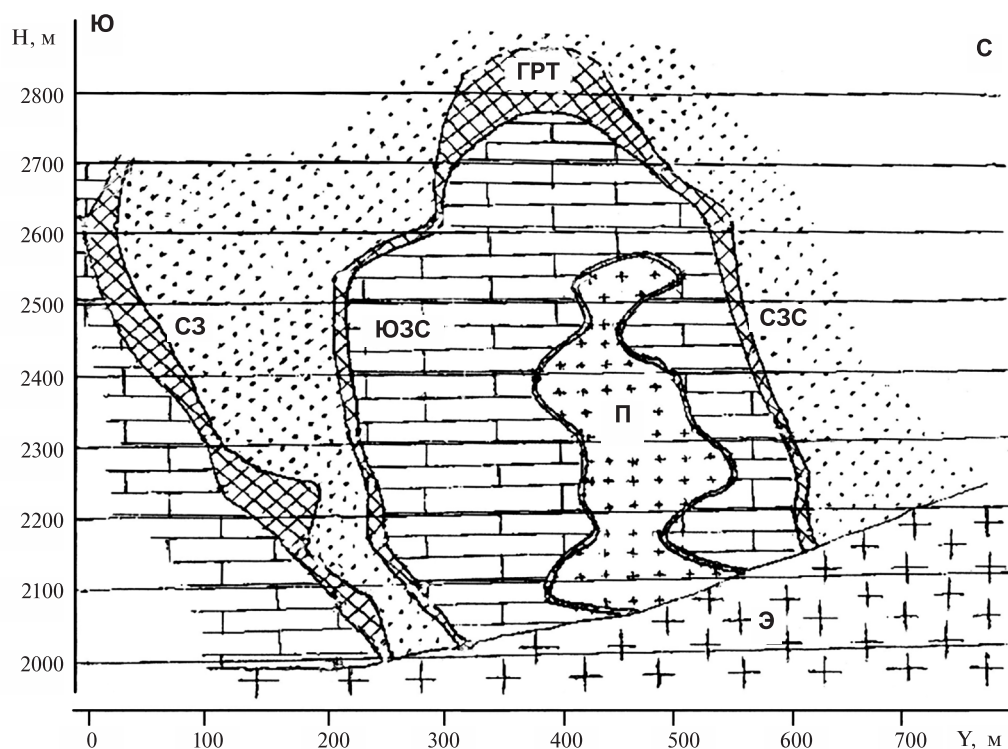
Аналитические данные по составу минералов получены в основном для проб, взятых в карьере. Анализы выполнены методом локального рентгеноспектрального анализа с использованием микроанализатора Camebax с детектором Link AN-10000 (в ИЭМ РАН) и энергодисперсионного микроанализатора на базе растрового электронного микроскопа Jeol JSM-6480LV (на кафедре петрологии МГУ). Ускоряющее напряжение соответственно 15 и 10 кВ, ток зонда 2 и 0.7 нА, время анализа 70 и 120 с. Точность оценки главных элементов в составе фаз не хуже 2–5 отн.%. Нижний предел обнаружения для большинства элементов 0.03 мас.%.

ФОРМА ТЕЛА СЛЕПОЙ ЗАЛЕЖИ

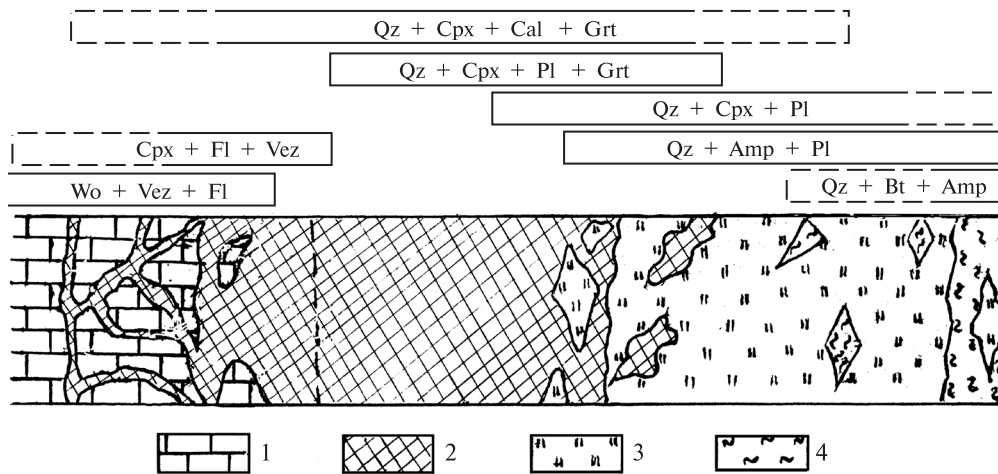
Самые важные рудные тела Центрального участка (Главной структурной зоны) месторождения: отработанное Главное рудное тело, его Северо-западный и Юго-западный фланги, Слепая залежь (фиг. 1, 2) – расположены, переходя друг в друга, вдоль контакта мраморов и биотитовых роговиков и приурочены к телам скарнов, скарноидов и околоскарновых пород, в меньшей мере – к самим исходным породам. Толща мраморов сопоставляется по возрасту с известняками, а роговиков – с вышележащими глинисто-алевролитовыми породами с прослоями песчаников D_3 – C_1 (фаменский – турнейский ярусы) Пшекиш-Тырныаузской шовной зоны Северного Кавказа. Линия контакта и залегающие параллельные ей прослои скарнированных роговиков в мраморах и гравелитов в роговиках отрисовывают антиклиналь Главного рудного тела и сопряженную с ней Мукуланскую синклиналь, шарниры которых



Фиг. 1. Геологический план горизонта 2165 м Центрального участка Тырнаузского месторождения. Составлен по данным разведочных работ. Буквами на плане обозначены: ГРТ – Главное рудное тело, СЗС – Северо-западный скарн, ЮЗС – Юго-западный фланг, СЗ – Слепая залежь, П – шток лейкократовых гранитов “Паук”, Э – Эльджуртинский гранитный массив. Условные обозначения: 1 – мраморы, 2 – роговики, 3 – скарны и околоскарновые породы, 4 – лейкократовые граниты, 5 – граниты, 6 – дайка риолитов, 7 – линия разреза фиг. 2.



Фиг. 2. Меридиональный геологический разрез Центрального участка Тырнаузского месторождения по линии, показанной на фиг. 1. Составлен по данным разведки. Н – абсолютная отметка (высота в метрах над уровнем моря), У – расстояние в метрах в меридиональном направлении от условного нуля. Все обозначения – см. на фиг. 1.



Фиг. 3. Схема поперечного разреза Слепой залежи. 1 — мраморы; 2 — пироксен-гранатовые, гранат-пироксеновые, пироксен-воластонитовые скарны; пунктирной линией показан первичный контакт мраморов с роговиками; 3 — пироксен-плаггиоклазовые околоскарновые породы; 4 — роговики. В верхней части рисунка показано распределение различных минеральных типов (фаций) послескарновых продуктивных метасоматитов в разрезе.

погружаются под углами около 55° в восточных румбах (азимуты падения соответственно ЮВ 105° и СВ 80°). Эти структуры вблизи Центрального разлома осложняют более крупную Чатбашскую синклиналь, являясь по отношению к ней структурами второго порядка (Кононов, 1963).

Образование Тырнаузского W-Mo месторождения относится к кайнозойскому посторогенному этапу развития Кавказа. По времени и месту проявления оно совпадает с формированием малоглубинных и субвулканических так называемых “неоинтрузивных” тел, которые в работе А.М. Борсука (1979) были объединены в неоген-четвертичную вулкано-плутоническую ассоциацию. Процессы формирования месторождения и сопряженного минералообразования попадают в возрастную вилку между кристаллизацией лейкократовых гранитов массива “Паук” и ряда дайковых тел (18 млн лет), с одной стороны, и гранитов Эльджуртинского массива (1.5–2 млн лет) — с другой, что доказано прямыми наблюдениями многих геологов и никем не подвергается сомнению. Сложные вопросы генетической связи оруденения и магматизма невозможно рассмотреть в рамках настоящей статьи. Достаточно упомянуть, что в своем труде, увенчавшем многосторонние исследования проблемы, В.В. Ляхович (1976) так и не смог прийти к определенному заключению.

Слепая залежь залегает в южном крыле Мукуланской синклинали на контакте роговиков (в ядре) и мраморов. К ее северному крылу приурочен Юго-западный фланг Главного рудного тела. Контуры рудных и скарновых тел Тырнаузского месторождения в значительной части совпадают, и изучавшие его геологи обычно не разделяют эти понятия, хотя наложенный на скарны характер W-Mo оруденения был доказан независимо как для

месторождений этого типа Средней Азии (Жариков, 1961, Рехарский, 1961), так и для Тырнауза (Кононов, 1963).

Принципиальное строение основных рудных тел, включая Слепую залежь, одинаково. Основу составляют скарны, околоскарновые породы и исходные для их образования роговики и мраморы. По этим породам развиваются продуктивные метасоматиты с вкрапленностью рудных минералов и, в меньшей степени, прожилки выполнения (фиг. 3). Характеристика этих образований приводится в следующем разделе статьи. Геологические и разведочные работы показали, что скарновая залежь и оконтуренное по содержаниям W и Mo рудное тело совпадают только в его средней части. На флангах, особенно на верхних горизонтах в восточной части, продуктивные метасоматиты и, соответственно, рудное тело выходят в нескарнированные роговики.

По данным разведки, Слепая залежь имеет пластообразную форму с простирием СЗ 345° , падением на север в среднем под углом 65° . На верхних горизонтах залежь опрокинута на юг по субширотным пологим пострудным разломам. По простирианию тело вытянуто на 600–800 м, на глубину около 700 м, мощность его от 20 до 50 м. Местами оно расщепляется. Вблизи абсолютной отметки 2000 м тело срезается пологой кровлей послескарнового и пострудного Эльджуртинского гранитного массива.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ФОРМАЦИИ

Рудное тело сформировано в течение 4 главных последовательных этапов, переходы между которыми являются существенными переломами в направленности процессов минералообра-

зования. В первый этап происходило ороговивание — локальный метаморфизм первично осадочных и вулканогенно-осадочных пород. Ко второму этапу относится скарнообразование. Перелом заключается в смене изохимического метаморфизма реакционным метасоматическим взаимодействием контрастных по составу пород — роговиков и мраморов. Наличие жильобразных скарновых тел в мраморах и роговиках не отменяет их реакционного характера образования. Третьим этапом является продуктивный (W-Mo) послескарновый метасоматоз, имеющий, в отличие от скарнообразования, кислотную направленность по отношению к породам любого состава. Наконец, к последнему “гидротермальному” этапу отнесены все последующие довольно разнообразные процессы щелочной или близнеитральной направленности. Соответственно, выделяются 4 минеральные формации, закономерно сменяющие друг друга на фоне понижения температуры и относящиеся к единому гидротермальному циклу, связанному, по-видимому, с неоген-четвертичным гранитоидным комплексом, выделенным в работе А.М. Борсука (1979). Особенностью Тырныаузского месторождения является то, что породы трех первых этапов его формирования, и даже начала четвертого, сложены такими высокотемпературными минералами, как волластонит, клинопироксен и др., области устойчивого образования которых находятся при температурах не менее 500 °С. Многие минералы разных этапов относятся к одним и тем же группам и образуют, соответственно, по 2–3 и более генерации.

Горные породы формации роговиков и мраморов

Формация включает в себя метаморфизованные терригенные осадочные, вулканогенно-осадочные и карбонатные (а в других местах рудного поля и интрузивные) горные породы. Область их распространения совпадает с рудным полем и ограничивается в плане эллипсом, имеющим размеры 2–2.5 км — в меридиональном и около 5 км — в широтном направлении. По локальности проявления и петрографическим особенностям пород ореол сходен с контактово-метаморфическими образованиями. Однако в районе отсутствует интрузив, которому можно приписать ответственность за формирование ореола и последующие преобразования пород. По возрасту подходит только шток лейкократовых гранитов “Паук”, локализованный вблизи Главного рудного тела. Он имеет в горизонтальном сечении диаметр около 200 м и многочисленные жильобразные апофизы.

К бедным кальцием роговикам относятся калишпат-кварц-биотит-плаггиоклазовые и кварц-кордиерит-биотит-плаггиоклазовые мелко- и тон-

козернистые породы темно-серого цвета, часто с фиолетовым оттенком. Зерна кварца и плаггиоклаза, сохраняющие обломочные формы, заключены в тонкозернистой массе, состоящей из листочков биотита, зерен плаггиоклаза, кварца и калиевого полевого шпата. Характерные акцессории: ильменит, апатит, циркон. Преимущественная ориентировка чешуй биотита в одной плоскости определяет скрытую сланцеватость пород. Кордиерит, если он есть, образует изометричные порфиобласты размером в десятки доли мм. Состав плаггиоклаза — от олигоклаза № 12 до андезина № 40, ортоклазовая составляющая 2–3% (здесь и далее состав минералов по анализам табл. 1). Альбитового минала в калиевом полевым шпате от 7 до 20%. Биотит представлен флогопит-аннитом умеренной (0.40–0.65) железистости. Средняя мольная доля миналов: phl — 0.33; ann — 0.37; eas — 0.14; sid — 0.16. Кордиерит имеет железистость 0.45–0.50.

При появлении амфибола порода приобретает зеленоватый оттенок. Часто в ней угадываются реликты порфировой структуры. Не ороговиванные аналоги амфибол-содержащих пород из других районов Северного Кавказа содержат примесь вулканогенного материала основного (базальтового) состава. Кордиерит в породе не встречается, калиевый полевой шпат, если присутствует, играет роль второстепенного минерала. Амфибол представлен эденитом или разновидностями, переходными к роговой обманке, с железистостью 0.50–0.55. Пределы изменения состава биотита — те же, что в бедных Са роговиках, плаггиоклаз почти всегда представлен андезином.

Среди мраморов на месторождении различают массивные и слоистые разновидности. Последние являются тонким чередованием мраморов с роговиками, преобразованным в скарноиды или известково-силикатные роговики. Массивные мраморы имеют серый цвет, мелкозернистую гранобластовую структуру. Сложены они более чем на 99% кальцитом. Встречаются редкие зерна доломита, флогопита и тремолита. Серый цвет обусловлен тонко распыленными в кальците чешуйками графита. Вблизи скарновых тел и большинства прожилков мраморы приобретают белый цвет (исчезает графит) и средне-крупнозернистую гетерогранобластовую структуру. В составе кальцита до 3 мол.% MgCO₃. Слюда содержит 0.95 phl, 0.01 ann и 0.04 eas; f = 0.01; содержание F 0.77 ф.е., Al^{VI} 0.05 ф.е. Амфибол имеет f = 0.06; содержание F 0.56 ф.е., Al^{VI} 0.24 ф.е.

Скарны

При отнесении горных пород к формации скарнов мы последовательно придерживаемся определения Д.С. Коржинского (1953). Скарнами мы называем только метасоматические горные породы

Таблица 1. Составы минералов из горных пород Слепой залежи

Порода	Роговик				Ильменит			Мрамор		Околоскарновая порода					Эндоскарн		Экзоскарн	
	Биотит	Плагио- клаз	Амфибол	Калиевый полевой шпат	7	5	6	Флогопит	Тремолит	Пироксен	Плагио- клаз	Титанит	Апатит	Пироксен	Гранат	Пироксен	Гранат	
n*	17	5	12	10	7	5	6	6	6	6	5	2	1	18	16	10	9	
SiO ₂	34.65	60.07	46.32	62.23	2.13	42.65	49.13	52.01	52.93	29.54	-	-	49.58	37.70	51.46	36.93		
TiO ₂	2.32	-	0.49	0.12	51.58	0.22	0.27	-	34.86	-	-	-	0.10	0.18	0.06	0.84		
Al ₂ O ₃	16.79	24.77	7.19	18.03	0.57	12.82	6.94	0.67	29.60	4.24	-	-	0.52	17.94	0.58	16.77		
FeO	19.88	0.25	19.71	0.56	42.23	2.79	2.37	11.76	0.32	0.31	-	-	18.65	6.81	6.85	7.36		
MgO	10.10	-	9.90	0.16	0.15	25.22	19.69	10.36	-	-	-	-	5.98	0.29	12.51	0.08		
MnO	0.08	-	0.43	-	1.44	0.12	0.06	0.28	-	-	-	-	1.16	0.99	0.53	0.65		
CaO	0.10	6.42	11.81	0.08	0.09	1.60	14.98	24.16	12.14	28.26	56.31	-	23.90	35.35	26.29	35.84		
Na ₂ O	0.22	7.56	1.13	1.74	0.20	0.41	1.36	0.21	4.55	-	-	-	0.24	0.06	0.16	-		
K ₂ O	9.13	0.36	0.74	13.43	0.28	9.23	0.26	-	0.07	-	-	-	-	-	-	-		
F	0.85	-	0.39	-	0.11	3.48	1.23	-	-	Не опр.	3.14	-	-	0.05	-	-		
Cl	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	42.61	-	0.00	0.00	0.00	0.00		
Total	94.23	99.42	97.88	96.36	98.78	95.73	95.31	99.45	99.62	97.22	102.05	100.16	99.37	98.45	98.92			
Число атомов в формуле**																		
Si	2.695	2.688	7.039	2.930	0.053	2.991	7.071	1.982	2.409	0.906	-	-	1.958	2.915	1.948	2.888		
Ti	0.137	-	0.056	0.004	0.957	0.012	0.005	-	-	1.032	-	-	0.003	0.010	0.002	0.049		
Al	1.553	1.307	1.285	1.052	0.015	1.060	1.173	0.030	1.587	0.148	-	-	0.024	1.635	0.025	1.545		
Fe	1.296	0.009	2.502	0.024	0.871	0.164	0.286	0.375	0.012	0.007	-	-	0.617	0.440	0.217	0.482		
Mg	1.167	-	2.240	0.012	0.006	2.639	4.224	0.611	-	-	-	-	0.350	0.033	0.707	0.009		
Mn	0.005	-	0.055	-	0.030	0.007	0.007	0.009	-	-	-	-	0.039	0.065	0.017	0.043		
Ca	0.009	0.308	1.920	0.004	0.000	0.119	2.311	0.987	0.592	0.896	5.004	-	1.011	2.929	1.065	3.004		
Na	0.034	0.655	0.333	0.159	0.000	0.056	0.378	0.015	0.401	-	-	-	0.019	0.009	0.011	-		
K	0.906	0.020	0.144	0.807	0.000	0.827	0.047	-	0.004	-	-	-	-	-	-	-		
F	0.212	-	0.187	-	0.000	0.774	0.560	-	-	-	0.822	-	-	-	-	-		
Cl	-	-	0.013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.993	-	-	-	-	-		

Таблица 1. Продолжение

Порода	Продуктивные метасоматиты																
	по роговикам				по околоскарновым породам				по эндоскарнам				по экзокскарнам				
	Биотит	Плагио- клас	Амфибол	Пироксен	Пироксен	Плаггио- клас	Амфибол	Титанит	Пироксен	Гранат	Плаггио- клас	Титанит	Апатит	Пироксен	Гранат	Везувин	Апатит
n*	2	2	26	13	8	10	7	28	12	9	3	1	10	11	2	1	
SiO ₂	37.76	63.53	48.66	49.90	58.45	41.43	29.88	48.42	37.12	45.01	32.21	1.78	51.65	36.45	37.54	0.52	
TiO ₂	2.51	0.09	0.50	0.05	0.05	0.73	36.30	0.08	0.25	0.05	30.62	-	-	0.70	1.29	-	
Al ₂ O ₃	20.03	21.21	5.36	0.38	25.10	8.27	2.24	0.57	15.77	34.50	08.12	0.67	0.42	11.49	17.00	-	
FeO	21.48	0.14	17.96	21.41	0.22	27.63	1.53	23.67	9.82	0.38	0.64	-	10.96	13.48	3.82	0.12	
MgO	7.75	-	12.09	4.97	-	4.25	-	2.76	0.09	0.07	0.10	-	10.78	0.12	1.75	-	
MnO	0.05	-	0.45	0.107	-	0.82	0.06	1.47	1.35	0.04	0.02	-	0.92	0.60	0.22	0.05	
CaO	0.24	2.89	11.19	23.08	7.53	11.58	28.45	23.29	34.90	18.83	29.-7	59.12	25.41	35.40	37.62	58.11	
Na ₂ O	0.60	9.48	0.92	0.18	6.99	1.39	-	0.25	-	1.17	0.19	-	0.15	0.06	0.06	-	
K ₂ O	8.25	0.44	0.34	-	0.24	0.94	-	-	-	0.05	-	-	-	-	0.02	-	
F	1.86	-	0.75	-	-	-	He	-	-	-	1.93	4.96	-	-	2.38	4.91	
Cl	-	-	0.10	-	-	0.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41.08	-	-	-	39.07	
Total	100.51	97.77	97.99	101.11	98.66	97.59	98.56	100.54	99.39	100.10	102.93	103.79	99.44	98.77	101.73	102.69	
Число атомов в формуле**																	
Si	2.721	2.854	7.273	1.970	2.641	6.632	0.995	1.954	2.900	2.075	1.023	0.142	1.951	2.911	8.568	0.044	
Ti	0.135	0.003	0.056	0.002	0.002	0.088	0.908	0.002	0.015	0.002	0.734	-	-	0.042	0.226	-	
Al	1.780	1.123	0.953	0.018	1.350	1.561	0.088	0.027	1.453	1.876	0.301	0.063	0.019	1.081	4.681	-	
Fe	1.296	0.005	2.260	0.707	0.008	3.701	0.043	0.799	0.642	0.014	0.017	-	0.346	0.901	0.745	0.009	
Mg	0.836	-	2.671	0.300	-	1.014	-	0.166	0.011	0.004	0.004	-	0.607	0.015	0.609	-	
Mn	0.003	-	0.058	0.037	-	0.128	0.002	0.050	0.089	0.001	0.000	-	0.030	0.041	0.046	0.004	
Ca	0.018	0.139	1.792	0.976	0.364	1.987	1.014	1.007	2.922	0.931	0.992	5.077	1.028	3.029	9.418	5.272	
Na	0.083	0.826	0.265	0.013	0.613	0.433	-	0.019	-	0.105	0.011	-	0.011	0.010	0.028	-	
K	0.755	0.025	0.065	-	0.014	0.199	-	-	-	0.003	-	-	-	-	0.006	-	
F	0.449	-	0.298	-	-	-	-	-	-	-	0.195	1.257	-	-	1.755	1.315	
Cl	-	-	0.022	-	-	0.161	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.788	-	-	-	2.800	

Таблица 1. Окончание

Порода	Продукты гидротермальных изменений					
	роговиков		Мрамора	Скарнов и апоскарновых метасоматитов		
Минерал	Хлорит	Мусковит	Хлорит	Актинолит	Хлорит	Эпидот
n*	4	1	3	2	3	2
SiO ₂	23.72	43.25	29.45	47.46	27.14	38.23
TiO ₂	0.32	0.76	0.05	0.42	0.14	-
Al ₂ O ₃	19.06	14.00	20.87	3.16	17.46	21.73
FeO	27.95	6.30	1.38	25.24	34.16	13.84
MgO	9.68	2.28	31.07	7.13	7.55	0.41
MnO	0.19	0.22	0.07	1.13	02.01	0.18
CaO	0.08	4.51	0.36	11.31	0.44	24.29
Na ₂ O	0.21	0.79	-	0.54	0.28	0.07
K ₂ O	0.31	10.99	0.07	0.30	-	-
F	-	1.13	1.27	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-
Total	81.50	83.43	83.49	96.68	89.21	98.73

Число атомов в формуле**

Si	5.487	3.546	5.725	7.443	5.951	2.983
Ti	0.056	0.047	0.008	0.050	0.024	-
Al	5.198	1.353	4.785	0.584	4.515	1.998
Fe	5.410	0.432	0.224	3.310	6.272	0.903
Mg	3.337	0.279	9.005	1.667	2.467	0.048
Mn	0.036	0.015	0.010	0.150	0.375	0.011
Ca	0.020	0.396	0.075	1.900	0.102	2.030
Na	0.092	0.126	-	0.164	0.118	0.010
K	0.091	1.150	0.016	0.060	-	-
F	-	0.293	0.779	-	-	-
P	-	-	-	-	-	-

Примечание.

* — число анализов, из которых выведено среднее;

** — формулы минералов рассчитаны на следующее число зарядов анионов: апатита — 25, амфибола — 46, биотита — 22, везувиана — 72, граната — 24, ильменита — 6, мусковита — 22, пироксена — 12, полевых шпатов — 16, титанита — 10, хлорита — 56, эпидота — 23.

контактово-реакционного, как диффузионного, так и инфильтрационного генезиса. Во вторую очередь учитываются чисто петрографические признаки. Термин используется также для обозначения геологических тел, сложенных комплексом пород формации скарнов (Граменицкий, 2012). Все это важно отметить, поскольку в посвященной месторождению литературе скарнами часто называли самые разные породы (“пироксен-плагноклазовые скарны”, “скарны сложного состава”, “сульфидные скарны” и др.), в том числе и

кварц-содержащие, а скарновыми телами — образования, таковыми не являющиеся.

Скарновые тела сложены (Граменицкий и др., 1974, 1976) породами, промежуточными по составу (соотношению инертных компонентов Si, Al и Ca) между роговиками и мраморами и образующими метасоматическую зональность: 0. Роговик. | 1. Пироксен-плагноклазовая околоскарновая порода. | 2. Пироксен-гранатовый эндоскарн. || 03. Гранат-пироксеновый экзоскарн. | 02. Пироксен-воластонитовый экзоскарн. | 01. Перекристаллизованный (белый) мрамор. 00. Исходный (серый) мрамор. Двойной чертой обозначен первичный контакт карбонатной и алюмосиликатной породы, разделяющий эндоскарновые (апороговиковые) зоны и зоны экзоскарновые, развивающиеся с замещением мраморов и имеющие номера с нулем. Преобладающий механизм образования скарнов — диффузионный, биметасоматический, подчиненное значение имеет инфильтрационное взаимодействие, в результате которого образуются симметрично зональные жилеобразные тела как в мраморах, так и в роговиках. В некомпенсированных инфильтрационных телах две колонки развиты раздельно в мраморах или роговиках и пространственно разделены. Важным свойством зональности является обязательная последовательность зон. Роговик никогда не контактирует напрямую со скарнами, отделяясь от них околоскарновыми породами, так же как между последними и мраморами всегда находятся зоны скарнов. Зональность проявлена в каждом поперечном сечении Слепой залежи, что схематически показано на фиг. 3. В пределах пачки “слоистых мраморов”, представлявших первоначально тонкое чередование мраморов с роговиками, отдельные реакционные тела слились в единое тело скарноидов. В них тоже проявлена метасоматическая зональность, но мощность отдельных зон составляет первые мм или даже доли мм (в одном шлифе может быть несколько зон), и зоны многократно чередуются в разрезе.

Клинопироксен-плагноклазовые околоскарновые породы, которые на месторождении обычно называют “пироксеновыми роговиками”, отчетливо развиваются с замещением собственно роговиков, которые остаются в виде линзовидных или угловатых реликтов, создавая брекчиевидный облик пород. При тонком переслаивании биотитовых и биотит-амфиболовых роговиков замещающие их секущие полосы околоскарновых пород приобретают четковидный облик: их мощность при развитии по амфиболсодержащей породе больше, чем по биотитовому роговику. Такой случай был описан нами (Граменицкая и др., 2013, фиг. 1). Отношения, не оставляющие сомнений в метасоматическом образовании пироксен-плагноклазовых пород, видны повсеместно. Там, где они

не очевидны, не исключено формирование этих пород путем изохимического метаморфизма (ороговикования) пород мергелистого состава. Однако при случайном химическом составе исходной породы образование двуминеральных пироксен-плагиоклазовых пород должно быть редким исключением, гораздо более вероятны породы с большим числом минеральных фаз.

Околоскарновые породы представляют собой светло-зеленые, иногда почти белые тонко- или мелкозернистые породы (средний размер зерен 20 мкм), часто с тонкой полосчатой или пятнисто-полосчатой текстурой, унаследованной от биотитовых роговиков. Структура их гранобластовая, роговиковая (торцовая). Пироксен-плагиоклазовые породы сложены на 50–80% (иногда до 95%) плагиоклазом, остальное – клинопироксен. Среди аксессуарных минералов характерны сфен, образующий цепочки, параллельные полосчатости, и тонкоигольчатый апатит, приуроченный к плагиоклазу. Внутри зерен сфена иногда сохраняются реликты ильменита.

Клинопироксен представлен почти бесцветным в шлифах салитом с 32–57 мол.% геденбергитовой составляющей. Возрастание железистости по зонам отдельных зерен и по разрезу в сторону мраморов связано с разрастанием метасоматической зональности. В том же направлении меняется состав пироксена при наложении продуктивной стадии. Содержание Al, Mn, Na не превышает по 0.03 ф.е., Ti – 0.01 ф.е. Плагиоклаз – битовнит-анортит № 75–95, содержание K на пределе обнаружения. Зональность зерен чаще всего обратная, связанная с реликтовыми (от первичных роговиков) ядрами олигоклазов-андезинов. Новообразования более натровых плагиоклазов в каймах зерен связаны с наложенными процессами. В составе титанита Al 0.15 ф.е. и Fe 0.01 ф.е. Апатит имеет почти идеальное стехиометрическое соотношение Ca и P, в нем 0.82 ф.е. F.

Эндоскарны (апороговиковые) состоят из темно-зеленого клинопироксена и коричневого граната и образуют неправильные полосы и линзы в околоскарновых породах. При полном замещении скарны приобретают не всегда выдержанную полосчатую текстуру. Включения пироксена в массе граната расположены, по выражению А.В. Пэка (1962), “строчками”, и эти строчки непрерывно прослеживаются в соседние существенно плагиоклазовые участки околоскарновой породы, в которой, “следовательно, гранат заместил в основном плагиоклазовый агрегат”.

При переходе к **экзоскарнам** (“апоизвестняковым”) исчезает полосчатость, уменьшается количество граната и возрастает – пироксена. Только у контактов с мраморами в скарнах появляются полоски и неправильные выделения везувиана, волластонита, связанные с процессами следую-

щего, продуктивного этапа. Мрамор отделен от гранат-пироксеновых скарнов пироксен-волластонитовой каймой мощностью 1–2 см. Удлиненные кристаллы волластонита обычно ориентированы перпендикулярно контакту. Скарны окружены оторочкой мощностью до 20 см осветленного мрамора, который встречается также в реликтах среди экзоскарнов. По сравнению с исходным серым мрамором размер зерен кальцита возрастает (от десятых долей до нескольких мм), из них исчезают мельчайшие вроски графита.

Гранат скарнов светло-коричневый, он обычно оптически изотропен. По составу он относится к гроссуляр-андрадитовому ряду, с преобладанием гроссулярной составляющей – от 0.6 до 0.9 мольной доли. Железистость граната (андрадитовая составляющая) возрастает в сторону первичного контакта. Содержания Mn – 0.04–0.06; Ti – 0.01–0.05; Mg – 0.01–0.03 ф.е.

Клинопироксен относится к ряду диопсид-геденбергита. В скарнах мольная доля геденбергитовой составляющей от 0.25 до 0.65, йогансенитовой – до 0.05. Содержания Al, Na и Ti не превышают 0.02 ф.е. Возрастание железистости происходит в сторону первичного контакта мрамора и роговика. Вследствие разрастания метасоматической зональности и увеличения железистости при переходе к продуктивному этапу зерна пироксена имеют относительно магнезиальное ядро и железистые края.

Волластонит скарнов имеет теоретический состав. Примеси Mn и Fe не превышают 0.01 ф.е.

Продуктивные послескарновые метасоматиты

Минеральные фации и зональность. Основные рудные минералы в подавляющем большинстве случаев образуют вкрапленность в метасоматитах, развивающихся по любым породам первых двух формаций, что определяет разнообразие их минерального состава и строения метасоматических колонок. Такие образования, подчас очень не похожие друг на друга, рассматриваются как литологические (т. е. образовавшиеся по горным породам разного исходного состава) фации (Граменицкий и др., 1978₁, 1978₂; Граменицкий, Зиновьева, 1984) одного семейства метасоматических пород, как это схематически показано для обобщенного поперечного разреза Слепой залежи (см. фиг. 3). Прямыми доказательствами синхронности их образования в результате воздействия одного и того же агрессивного раствора являются непосредственные переходы от одной фации к другой при пересечении границ различных исходных пород жилообразными телами, контролируемые трещинами или кварцевыми прожилками. На подобных наблюдениях основано объединение различных фаций продуктивных

Таблица 2. Типы зональности продуктивных метасоматитов Слепой Залежи

Тип	Исходная порода	Зоны метасоматитов			Осевая зона	
1	Пироксен-гранатовый скарн	Cpx + Qz + Gr + Pl	Cpx + Qz + Pl	Pl + Qz	Qz	
2		Cpx + Qz + Gr + Pl	Cpx + Qz + Pl	Cpx + Qz	Qz	
3		Cpx + Qz + Pl		Pl + Qz	Qz	
4		Пироксен-плагиоклазовая околоскарновая порода	Pl + Qz + Cpx		Pl + Qz	Qz
5			Pl + Qz + Cpx		Cpx + Qz	Qz
6			Pl + Qz + Amp		Pl + Qz	Qz
7	Гранат-пироксеновый или пироксен-воластонитовый экзоскарн	Vs + Cpx		Wol + Vs		
8		Мрамор (Cal)	Wol	Cpx	Gr	Qz
9	Биотитовый роговик	Pl + Qz + Bt		Bt + Qz	Qz	
10		Pl + Qz + Bt		Pl + Qz	Qz	
11	Кордиеритовый роговик	Pl + Qz + Bt + Crd	Pl + Qz + Bt	Pl + Qz	Qz	
12	Амфибол-биотитовый роговик	Qz + Pl + Bt + Amp	Qz + Pl + Amp	Qz + Amp	Qz	

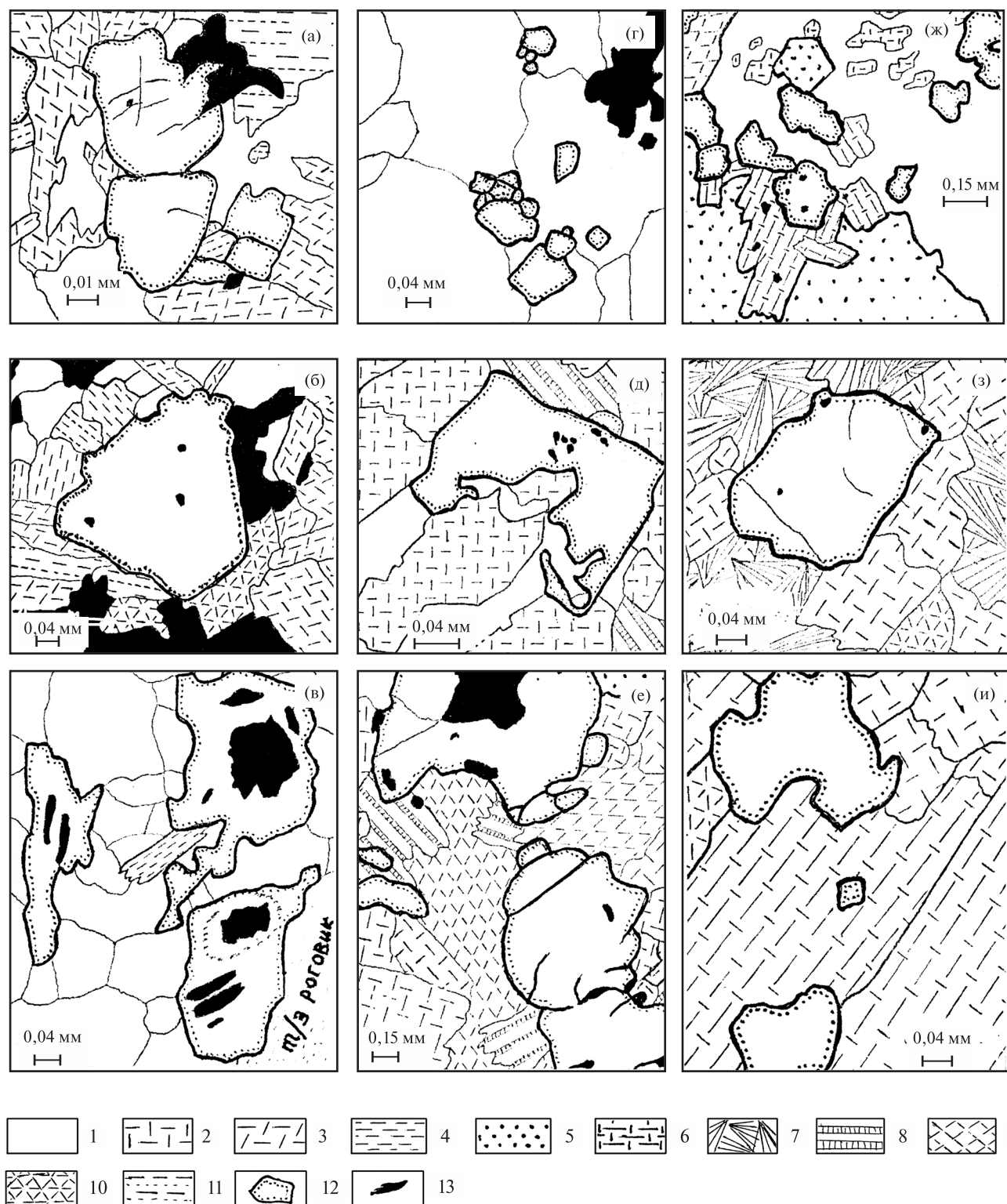
метасоматитов в одно семейство (метасоматическую формацию).

Общим у многих продуктивных метасоматитов (исключение – везувиан-воластонитовые разновидности, почти полностью замещающие экзоскарны) является околотрещинная жилеобразная форма тел. Ведущей химической тенденцией генезиса метасоматитов и жил продуктивной стадии по любым исходным породам являются силификация исходных пород, сопровождающаяся сменой сильных оснований более слабыми и затем их общим выносом, почти всегда существенная роль новообразованного кварца и в большинстве случаев приуроченность зон окварцевания и кварцевых жил к осевой части метасоматитов. Образование послескарновых метасоматитов сопровождается существенным переломом в направленности минеральных замещений. Если в предшествующий скарновый этап происходит развитие граната по плагиоклазу, кварц замещается известковыми магнезиально-железистыми силикатами, биотит и амфибол – пироксеном, натровые плагиоклазы – более кальциевыми разновидностями, то в этап образования продуктивных метасоматитов направленность резко меняется, подчас на прямо противоположную. Гранат замещается плагиоклазом, кальциевый плагиоклаз – более натровым, пироксен – амфиболом, все минералы замещаются кварцем. Замещения минералов отражают химические изменения. Образование скарнов имеет двойственную природу: для алюмосиликатной породы (роговика) замещение имеет щелочную направленность, а для карбонатной – кислотную. Образование же продуктивных метасоматитов – кислотный процесс по отношению к любым породам, что видно при рассмотрении строения метасоматических колонок, типы которых сведены в табл. 2. Главные

из них по скарнам и роговикам, подробно рассмотрены в специальных статьях (Граменицкий и др., 1978₂; Граменицкий, 2016₂). Помимо метасоматитов, к формации относятся близкие по времени образования, общему минеральному составу и составу минералов жилы выполнения: существенно кварцевые, плагиоклаз-кварцевые, пироксен-кварцевые и др. Во многих жилах содержатся рудные минералы. По масштабам проявления жилы значительно уступают метасоматитам. Их роль в отношении содержания шеелита и молибдошеелита в рудах незначительна, чего нельзя сказать о молибдените. Штокверки молибденит-кварцевых жил образуют самостоятельные рудные тела.

Апороговиковые продуктивные метасоматиты. Среди роговиков и частично среди замещающих их пироксен-плагиоклазовых пород шеелитоносны метасоматиты кварц-амфибол-плагиоклазового состава, меньшее значение имеют кварц-биотит-амфиболовые метасоматиты, а также кварцевые прожилки.

Неравномерно распределенные линзовидные и жилеобразные околотрещинные тела кварц-амфибол-плагиоклазовых метасоматитов создают пятнисто-прожилковую или брекчиевидную текстуру пород. Они сложены (фиг. 4а) удлиненными зернами амфибола длиной до 0.8 мм с зазубренными краями, таблитчатыми зернами андезина (до 0.2 мм) и более мелкими с извилистыми краями – кварца. Многочисленные кристаллы титанита (до 0.1 мм) образуют цепочечные выделения. В зернах породообразующих минералов содержатся мелкие (менее 0.02 мм) кристаллы апатита. Вкрапленные ксеноморфные, часто с извилистыми краями зерна молибдошеелита и шеелита, содержащие включения мелких чешуек молибденита, имеют средний размер 0.2 мм и в 75% случаев находятся в сра-



Фиг. 4. Морфология и характер срастаний зерен молибдошеелита с другими минералами в ассоциациях продуктивных метасоматитов: (а) – кварц-биотит-амфиболовой; (б) – кварц-амфибол-плаггиоклазовой; (в) – кварцевых прожилков среди биотитовых роговиков; (г) – кварцевых прожилков среди околоскарновых пород; (д) – кварц-пироксен-плаггиоклазовой; (е) – кварц-пироксен-кальцит-гранатовой; (ж) – кварц-пироксен-плаггиоклаз-гранатовой; (з) – волластонит-везувиан-флюоритовой; (и) – пироксен-флюорит-везувиановой. Данные о составе молибдошеелита см. в тексте. Условные обозначения минералов: 1 – кварц; 2 – пироксен; 3 – амфибол; 4 – биотит; 5 – гранат; 6 – везувиан; 7 – волластонит; 8 – плаггиоклаз; 9 – кальцит; 10 – флюорит; 11 – хлорит; 12 – молибдошеелит; 13 – молибденит. Прорисовка фотографий шлифов С.М. Ключаревой.

станциях с кварцем и амфиболом, относительно часто (5%) — также с апатитом. Молибдошеелит довольно однороден по составу, содержит 0.02–0.04 повеллитовой составляющей. Шеелит без Мо образует в его зернах тонкие микропрожилки, реже невыдержанные каймы. Молибденит представлен в двух генерациях. Чешуи раннего молибденита длиной до 0.1 мм образуют самостоятельную вкрапленность, поздние представлены тонкими (первые сотые доли мм) сростками с шеелитом. Границы срастания со всеми минералами извилистые. Породы секутся тонкими (до 0.1 мм) прожилками кальцита, а амфибол часто замещается хлоритом и сульфидами.

Кварц-биотит-амфиболовые метасоматиты сложены зернами кварца (до 0.6 мм) с извилистыми очертаниями, удлинёнными зернами амфибола (до 0.3 мм), лейстами биотита (до 0.2 мм), акцессорных апатита и титанита (0.01–0.18 мм).

Шеелит (до 0.02 CaMoO_4) с мелкими включениями молибденита образует рассеянную вкрапленность субидiomорфных зерен, средний размер которых — 0.16 мм (фиг. 4б). 75% его зерен находятся в срастании с кварцем, амфиболом и биотитом. Границы срастания ровные. Явно более поздними являются хлорит, серицит, флюорит и различные сульфиды.

Кварцевые прожилки в биотитовых роговиках мощностью от 3 до 30 мм содержат чешуйки биотита размером до 0.3 мм, удлинённые зерна амфибола (до 0.3 мм), идиоморфные кристаллы апатита (0.01–0.07 мм) и титанита (до 0.1 мм) (фиг. 4в). Зерна шеелита, реже молибдошеелита (до 0.04 повеллита) ксеноморфные, иногда таблитчатой формы. Их средний размер 0.25 мм, но около 10% зерен имеет крупность 0.25–1.5 мм. Большая часть зерен молибдошеелита находится в срастании с кварцем (70%) и молибденитом (15%). Границы срастаний извилистые. Вторичные хлорит и кальцит образуют гнезда.

Продуктивные метасоматиты среди и за счет околоскарновых пород развиваются в виде согласных и секущих прожилков, линз и гнезд кварц-пироксен-плагиоклазового состава, создающих грубо полосчатую и брекчиевидную текстуру пород. Они сложены таблитчатыми зернами плагиоклаза, ксеноморфными — пироксена и кварца. Отмечаются зерна титанита и единичные хорошо оформленные кристаллики апатита. Размер зерен от сотых долей до 1.2 мм. К метасоматитам приурочена богатая вкрапленность зерен молибдошеелита (средний размер 0.18 мм), которые на 88% находятся в срастаниях с пироксеном, кварцем, плагиоклазом и молибденитом (фиг. 4д). Зерна молибдошеелита зональны, с резкими различиями состава ядра (до 0.08–0.12 CaMoO_4) и каймы (0.01–0.02). Иногда ядро зерен имеет ритмически зональное строение. Молибденит, как и в других

ассоциациях, образует две генерации. Границы срастания с пироксеном и плагиоклазом — ровные, с кварцем — извилистые с заливами.

Наложёнными являются тонкие (0.03 мм) секущие прожилки кальцита, пироксен замещается хлорит-стильпномелановым мелкочешуйчатым агрегатом с мелкой рассеянной вкрапленностью сульфидов.

С метасоматитами по пироксен-гранатовым эндо- и экзоскарнам связаны наиболее богатые Мо-W руды. Они имеют кварц-гранат-пироксен-плагиоклазовый состав. Зерна плагиоклаза (до 1 мм) имеют таблитчатую форму, клинопироксена (до 0.1 мм) — субпризматическую, если он ассоциирует с кварцем, или изометричную, когда он находится в виде включений в гранате. Метасоматиты содержат обильную вкрапленность молибдошеелита, ксеноморфные с извилистыми очертаниями зерна которого имеют средний размер 0.17 мм (фиг. 4е и 4ж) и содержат многочисленные включения молибденита. Зерна молибдошеелита обычно имеют несколько зон, дискретно отличающихся по составу (0.19–0.23; около 0.08 и 0.01–0.03 повеллитовой составляющей). Зоны секутся прожилками и обрамляются невыдержанной каймой чистого (без Мо) шеелита. В апоскарновой, как и в других фациях продуктивных метасоматитов, выделяются две генерации молибденита. Основная часть (91%) зерен молибдошеелита находится в срастаниях с пироксеном, кварцем, молибденитом, гранатом и плагиоклазом.

Часто породообразующие минералы замещены агрегатом ксеноморфных зерен кальцита с извилистыми краями размером до 0.5 мм, с которым тесно связано появление идиоморфных кристаллов анизотропного граната секториально-зонального строения, появление везувиана, гнезд флюорита, куспидина. С более поздней генерацией кальцита ассоциируют мелкочешуйчатый хлорит и стильпномелан, мелкая рассеянная вкрапленность сульфидов. С образованиями гидротермальной формации связаны отдельные зерна шеелита и молибденита. Границы срастания, особенно с флюоритом и кальцитом, неровные.

Отличается от предыдущих фаций **минеральный состав продуктивных метасоматитов по экзоскарнам и мраморам**. В них отсутствует плагиоклаз, а наряду с клинопироксеном и кальциевым гранатом большую роль играют везувиан, волластонит и высокофтористые минералы — флюорит и куспидин. Экзоскарны и скарнированные слоистые мраморы замещены практически нацело, во всяком случае, уверенно выделить их реликты среди продуктивных метасоматитов и установить зональность последних не всегда удается.

Пироксен-флюорит-везувиановые метасоматиты преимущественно развиваются по гранат-пироксеновым экзоскарнам. В их состав входят: ксе-

номорфные с извилистыми краями зерна пироксена (до 1 мм), удлинённые — везувиана (до 2 мм), флюорит, выполняющий промежутки между ними. Размер ксеноморфных зерен молибдошеелита с включениями молибденита в среднем 0.15 мм, и не крупнее 0.5 мм. Большая их часть (97%) находится в сростаниях с пироксеном, гранатом, везувианом, молибденитом и флюоритом. Границы сростаний извилистые (фиг. 4и). Все минералы замещаются кальцитом, ассоциирующим с мелкой рассеянной вкрапленностью сульфидов. Хлорит и стильпномелан по сети трещин и по краям замещают зерна пироксена.

Флюорит-воластонит-везувиановые метасоматиты тяготеют к внешним (пироксеновой и пироксен-воластонитовой) зонам экзокарнов. Они сложены удлинёнными мозаичного строения кристаллами (до 1.6 мм) везувиана, сноповидными кристаллами воластонита, образующего вместе с куспидином лучистые и веерообразные выделения, и флюоритом, выполняющим промежутки между зёрнами этих минералов или образующим включения в везувиане. Пироксен и гранат скарнов сохраняются лишь как реликты. Средний размер изометричных зерен молибдошеелита 0.13 мм (фиг. 4з), 88% которых находится в сростаниях с воластонитом, везувианом и флюоритом. Лишь в этой ассоциации встречаются его сростания с куспидином (до 1.5%). Границы сростания со всеми минералами довольно ровные, слабо извилистые. Состав молибдошеелита еще более разнообразен, чем в эндоскарнах. В ядрах зерен иногда обнаруживаются зейригиты с 0.32–0.36 повеллитовой составляющей. Все минералы секутся прожилками кальцита (мощность не более 1 мм) с сульфидами, хлоритом, иногда с эпидотом.

В массивных мраморах образования продуктивной стадии представлены сложной сетью (штокверком) прожилков и жил как пологого, так и крутого залегания, чем обусловлена полосчатая или брекчиевидная текстура. Жилы имеют кварц-пироксен-кальцит-гранатовый, пироксен-флюорит-везувиановый, воластонит-везувиан-флюоритовый с гранатом и куспидином состав. Они содержат мелкую (0.25 мм) рассеянную вкрапленность молибдошеелита с включениями чешуй молибденита. Помимо этого молибденит входит в состав полосчатых молибденит-кварцевых жил и пироксен-гранат-везувиановых гнезд.

Минеральный состав продуктивных метасоматитов. Главными рудными минералами являются молибдошеелит, шеелит и молибденит. Как и для других рудных тел (Кононов, Граменицкий, 1972; и др.), в зависимости от парагенезиса состав молибдошеелита меняется. Содержание повеллитовой составляющей последовательно уменьшается в ряду ассоциаций: с гранатом → пироксеном → амфиболом → биотитом, а также при возрастании

интенсивности метасоматического замещения — по его зональности. Наименьшее содержание Мо, вплоть до чистого шеелита, — в зонах полного окварцевания. Состав молибдошеелита изменяется и в одной и той же ассоциации в пределах рудных тел из-за вариаций внешних условий: температуры, летучести кислорода и серы. В основном к следующему гидротермальному этапу относится шеелит в сростках с молибденитом, который образуется при сульфидизации Мо, изоморфно замещающего W в молибдошеелите или избирательно востров повеллита в структурах распада его твердого раствора. Это видно, в частности, из сопоставления (фиг. 9) максимумов сростаний шеелита с хлоритом и молибденитом. Повеллит, являющийся продуктом гипергенного окисления молибденита, развит вблизи поверхности и по зонам дробления вдоль разрывных нарушений.

Породообразующими минералами разных фаций продуктивных метасоматитов являются кварц, плагиоклаз, биотит, амфибол, гроссуляр-андрадитовый гранат, диопсид-геденбергитовый пироксен, воластонит, везувиан, иногда куспидин, флюорит. Часть минералов этого списка обычно считаются специфически “скарновыми”, но в данном случае их образование связано не с реакционным взаимодействием контрастных по составу горных пород, но с высокотемпературным кислотным выщелачиванием.

Кварц — характерный минерал большинства фаций метасоматитов. В них он образует сливные мелкозернистые полупрозрачные серые массы. В жилах это агрегаты белых или желтоватых ксеноморфных зерен, в пустотах — хорошо образованные кристаллы горного хрусталя.

Ключевое значение в парагенезисах продуктивных метасоматитов почти всех фаций имеет плагиоклаз. Диапазон его составов охватывает практически весь изоморфный ряд, исключая только самые кальциевые (анортит) и самые натровые (альбит и альбит-олигоклаз) разновидности, относящиеся, соответственно, к более ранней (скарновой) и поздней (гидротермальной) формациям. Содержание анортитовой составляющей в плагиоклазе последовательно возрастает в ряду парагенезисов: с биотитом, амфиболом, пироксеном, гранатом и воластонитом. В ассоциации с двумя соседними минералами этого ряда приблизительно соблюдается постоянство основности плагиоклаза. Для средних горизонтов Главной структурной зоны содержания анортитовой составляющей примерно равны: 35% — в ассоциации с биотитом и амфиболом, 45% — с амфиболом и пироксеном, 55% — с пироксеном и гранатом и 65% — с гранатом и воластонитом. В вертикальном разрезе установлено закономерное изменение основности плагиоклаза в этих ассоциациях по вертикали (Граменицкий и др., 1978₁), причем минимальный

номер плагиоклаза в каждой из них относится к VI – VIII горизонтам, а выше и ниже – возрастает.

Еще одной типоморфной особенностью плагиоклаза продуктивной формации, необычной для метасоматических пород, является его промежуточная степень упорядочения, установленная прецизионными рентгеновскими и оптическими исследованиями и изучением инфракрасных спектров.

Биотит относится к средним членам флогопит-антитового ряда, средняя железистость 0.51 ± 0.05 , доли истонитового и сидерофиллитового минала – по 0.06 (Граменицкий, 2016₁). Он отличается от биотита исходных роговиков несколько меньшей глиноземистостью.

Амфиболы относятся к роговым обманкам с общей железистостью 0.45–0.60 и являются промежуточными членами ряда актинолит-гастингсит (Граменицкая и др., 2013), они достаточно четко отличаются от более глиноземистых эденитов исходных роговиков. В краевых частях зерен обычно происходит уменьшение железистости и глиноземистости (вплоть до появления актинолитов).

Гранат преимущественно красного цвета, обычно анизотропный. Его железистость 0.30–0.50 (среднее 0.39), всегда выше, чем в скарнах. Зерна имеют пятнистое строение и противоречивую зональность.

Клинопироксен представлен ферросалитом-геденбергитом с железистостью 0.79–0.85 и долей иогансенитовой составляющей до 0.07. По зональности зерен железистость повышается к краям.

Наибольшие отклонения от среднего состава везувиана (см. табл. 1) касаются Fe, Al и F. Они связаны в основном с составом исходных пород.

Образования гидротермального этапа

Средне- и низкотемпературные образования играют в рудном теле подчиненную роль. Исключение представляют линзовидные и пластобразные тела железистого граната в ассоциации с сульфидами, стильпномеланом, ильваитом и другими минералами. Эти образования на месторождении принято называть “сульфидными (или гранат-сульфидными) скарнами”. Развитие в скарнах позднего андрадита, характерное для большинства известково-скарновых месторождений, в пределах Слепой залежи приурочено почти исключительно к контактам скарнов с карбонатными породами. Гораздо реже эти образования встречаются в эндоскарнах, околосокарновых породах и мраморах.

В остальном образования этапа представлены кварцевыми, карбонатными и сульфидными прожилками мощностью до нескольких мм и метасоматическими изменениями вокруг них. Минеральный состав таких метасоматитов и жильного выполнения: кварц, карбонаты (кальцит, реже,

доломит), сульфиды (халькопирит, пирит, сфалерит и др.), хлорит, серицит, цеолиты и др. Хлорит представлен брунsvигитом в роговиках, рипидолитом или пикнохлоритом – в скарнах, околосокарновых породах и в развивающихся по ним продуктивных метасоматитах, клинохлором – в мраморах. В жилах и измененных породах встречается молибдошеелит и шеелит в сростках с молибденитом. Среди сульфидов отмечаются отдельные зерна самородного золота.

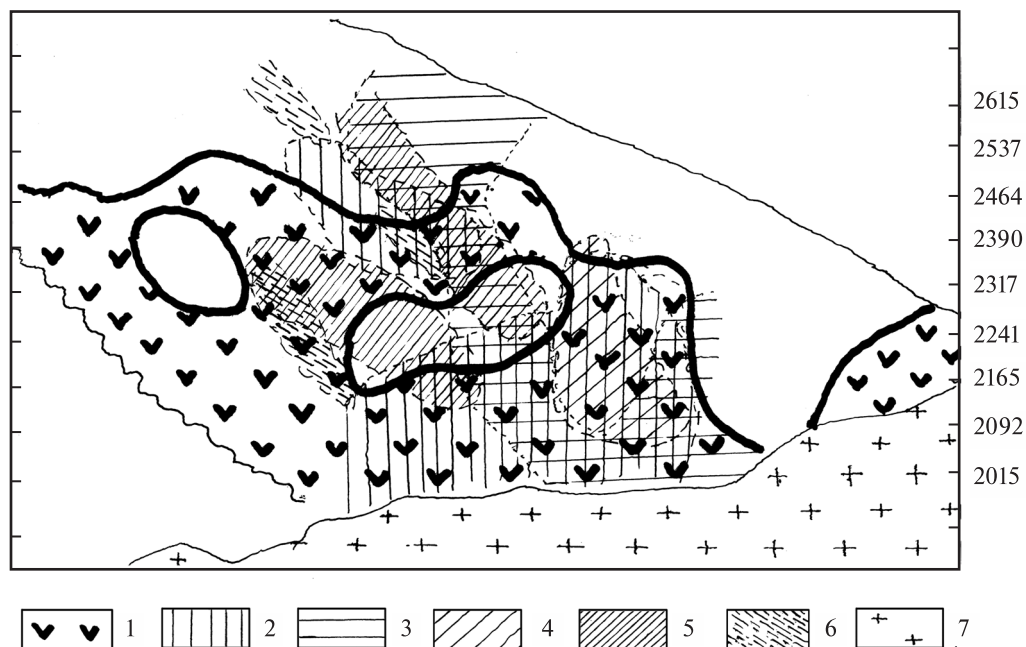
Гипергенные изменения развиты вблизи поверхности и распространяются почти на всю глубину залежи по зонам трещиноватости вдоль разрывных нарушений. Помимо глинистых минералов, гидроокислов железа и марганца, сульфатов и др., образуется повеллит за счет окисления молибденита.

ПРИРОДНЫЕ ТИПЫ РУД СЛЕПОЙ ЗАЛЕЖИ

Термин “природные” (или “естественные”) используется в противовес “технологическим” типам руд. В первом случае используются минеральный состав, типоморфные особенности минералов, структура и текстура. Вторые выделяются по технологическим свойствам: способности к измельчению и взаимодействию с флотационными реагентами.

Промышленные содержания W и Mo, определяющие контуры рудного тела, связаны практически только с вкрапленностью рудных минералов в послескарновых продуктивных метасоматитах, в меньшей степени с жилами, относящимися к тому же этапу. Незначительный вклад вносят молибденит и шеелит в образованиях гидротермального этапа и гипергенный повеллит. В составе любых руд преобладают породообразующие минералы, слагающие как рудоносные метасоматиты и жилы, так и исходные роговики, околосокарновые породы, мраморы и скарны. Эти вмещающие породы, являющиеся для руд разубоживающей массой, входят в их состав в разных количественных отношениях.

На следующих ниже рисунках количественные характеристики руд, которые влияют на их качество, спроецированы на вертикальную плоскость в виде изолиний. Из подобных характеристик самым важным при отнесении руд к определенному типу является процентное содержание в них скарнов, мраморов, околосокарновых пород и роговиков. Процентная доля коэффициентов сростаний молибдошеелита – главного носителя рудных компонентов – с породообразующими минералами является характеристикой его парагенетических отношений. Интерес представляет сопоставление распространенности различных фаций продуктивных метасоматитов со сростаниями их породообразующих и рудных минералов. Очевидно

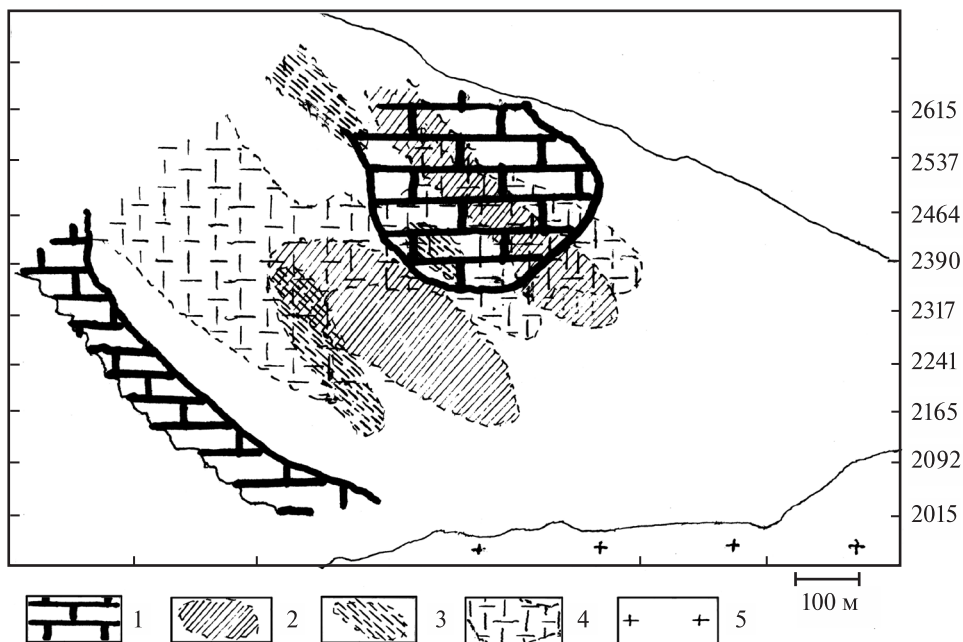


Фиг. 5. Сопоставление максимумов развития скарнов (в пределах изолинии 70% от всей массы исходных пород) в рудах Слепой залежи (1) и сростаний молибдошеелита с породообразующими минералами (показано штриховкой 2–6) апоскарновых продуктивных метасоматитов: 2 – с клинопироксеном (>40% от всех сростаний); 3 – с гранатом (>10%); 4 – с плагиоклазом (>10%); 5 – с везувианом (>5%); 6 – с волластонитом (>5%). 7 – Эльджуртинский гранитный массив. Проекция рудного тела на вертикальную плоскость.

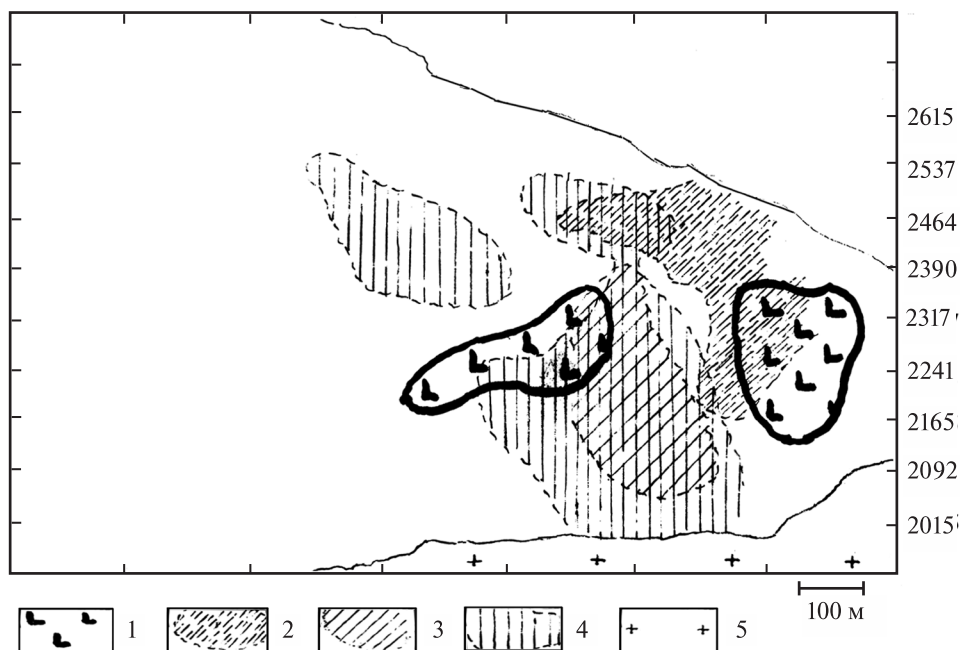
также значение содержания рудных компонентов (например, WO_3), непосредственно взятых из данных анализов.

Наиболее продуктивна вкрапленность молибдошеелита в апоскарновых метасоматитах. Руды

с долей скарнов среди исходных пород более 70% занимают (фиг. 5) около половины площади проекции. Меньше скарнов в восточной и верхней части залежи, а также в “окнах” в самом центре и в западной части. На фиг. 5 видно, что совокуп-



Фиг. 6. Сопоставление максимумов развития мраморов (1 – >15% от всей массы исходных пород) и % доли сростаний минералов продуктивных метасоматитов с молибдошеелитом и шеелитом (2 – везувиана, 3 – волластонита, 4 – флюорита; все три – >5% от общего числа сростаний). 5 – Эльджуртинский гранитный массив. Проекция Слепой залежи на вертикальную плоскость.



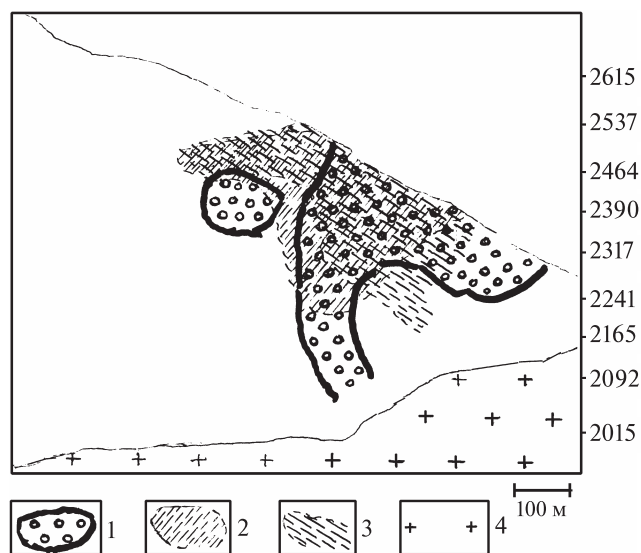
Фиг. 7. Сопоставление максимумов развития околоскарновых пород (1 – >50% от всей массы исходных пород) и срastаний минералов продуктивных метасоматитов с молибдошеелитом и шеелитом: 2 – амфибола (>5% от общего числа срastаний), 3 – плагиоклаза (>10%), 4 – пироксена (>40%). 5 – Эльджуртинский гранитный массив. Проекция рудного тела Слепой залежи на вертикальную плоскость.

ность максимумов срastаний молибдошеелита с главными минералами метасоматитов совпадает с этим полем. Однако отдельные максимумы, хотя и с перекрытиями, несколько обособливаются друг от друга. От восточной нижней части на запад и вверх последовательно сменяются максимумы срastаний молибдошеелита: с плагиоклазом → гранатом → пироксеном → везувианом → волластонитом. В средней части происходит смена гранат-пироксен-плагиоклазовой продуктивной ассоциации, характерной для эндоскарнов, на волластонит-везувиановую, которая развивается по экзоскарнам.

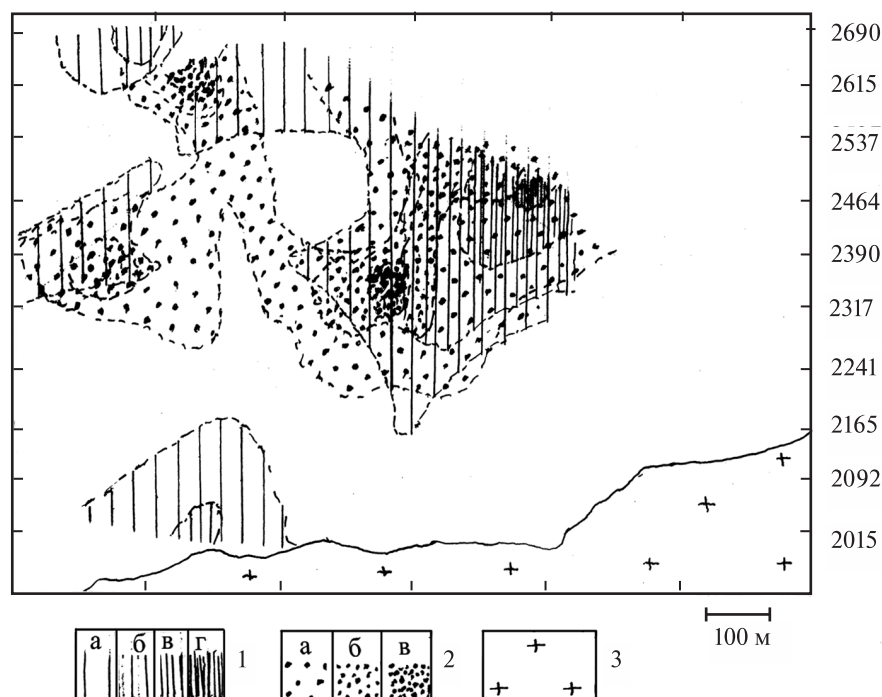
Максимальная доля мраморов в составе руд приурочена (фиг. 6) к центральной верхней и крайней западной части залежи – по краям поля экзоскарнов, которые образуются в контактах с ними и содержат их в виде реликтов. Близки к этому полю максимумы срastаний с шеелитом типоморфных для экзоскарнов минералов продуктивных метасоматитов (везувиана, волластонита и флюорита), а также содержаний CO₂ и F в рудах.

Сходным образом два максимума развития в рудах околоскарновых пород обрамляют поле эндоскарнов (фиг. 7). Один из них почти точно совпадает с “окном” в этом поле, в самом центре Слепой залежи, второй расположен в ее восточной части. По величине коэффициентов срastаний в западной части околоскарновые породы замещаются преимущественно пироксен-плагиоклазовыми, а в восточной – амфибол-содержащими продуктивными метасоматитами.

К восточной части рудного тела приурочена область максимальных содержаний в рудах биотитовых, кордиерит-биотитовых и амфибол-биотитовых роговиков. Почти совпадают с ней максимумы срastаний с шеелитом амфибола и биотита (фиг. 8) – характерных минералов апоскарновых



Фиг. 8. Соотношение поля наибольшего развития роговиков (1 – >10% от всей массы исходных пород) и максимумов срastаний молибдошеелита с амфиболом (2 – >5% от общего числа срastаний) и биотитом (3 – >5%). 4 – граниты Эльджуртинского массива. Проекция на вертикальную плоскость.



Фиг. 9. Максимумы коэффициентов срastаний шеелита с хлоритом (1а – >0.5% от общего числа срastаний; 1б – >1%; 1в – >2%; 1г – >3%) и молибденитом (2а – >5%; 2б – >10%; 2в – >15%). 3 – граниты Эльджуртинского массива. Проекция рудного тела Слепой залежи на вертикальную плоскость.

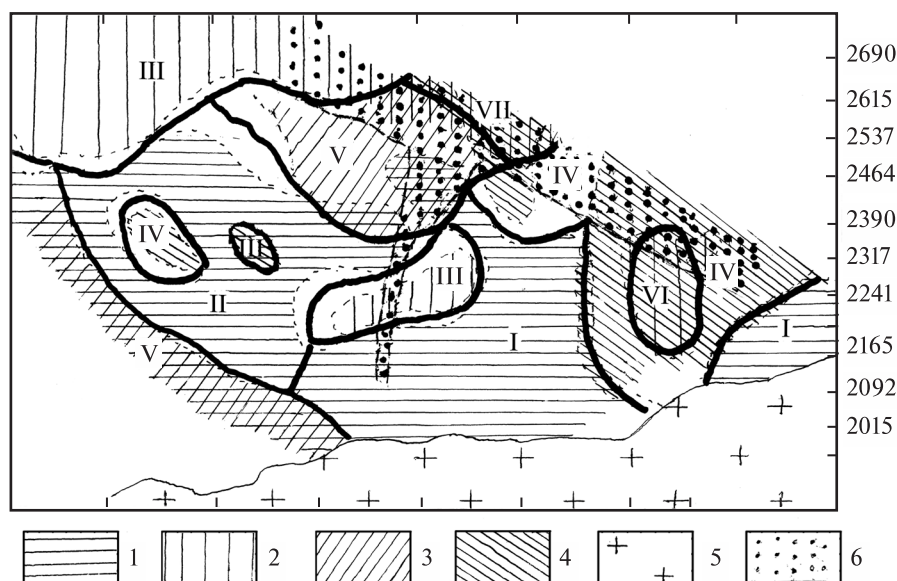
продуктивных метасоматитов по этим породам. При этом первый из них (максимум срastаний с амфиболом) несколько смещен к западу, в сторону поля развития продуктивных метасоматитов по околоскарновым породам и скарнам.

Распределение в Слепой залежи образований гидротермальной формации устанавливается по косвенным признакам, а именно по изолиниям срastаний шеелита с хлоритом и молибденитом (фиг. 9). Максимум срastаний с молибденитом объясняется тем, что в процессах гидротермального этапа происходит сульфидизация молибдена с образованием псевдоморфоз молибденита по определенным граням (главным образом, по пинакоиду) кристаллов молибдошеелита или в росткам повеллита из структур распада в нем. Изолинии, дополняя друг друга, отрисовывают две системы наложенных субмеридиональных зон трещиноватости, одна из которых имеет азимуты падения в восточных, а другая – в западных румбах. Приурочены изменения к средним и верхним горизонтам залежи.

По данным разведки, распределение W и Mo вкрест простирания Слепой залежи и по ее объему неравномерно. Максимум содержаний в одних разрезах приходится на осевую часть тела, в других – на висячий или лежащий бок залежи. Это связано с преобладанием развития в конкретном разрезе той или иной фации продуктивных метасоматитов, которое контролируется линейными тектоническими зонами, пересекающими скарно-

вую залежь под острыми углами. Систематика руд основана на соотношении в них пород главных фаций продуктивных метасоматитов, а следовательно, вмещающих горных пород, по которым развиваются рудоносные ассоциации: скарнов, мраморов, околоскарновых пород и роговиков. Четыре вида исходных пород контрастно отличаются друг от друга по минеральному составу, структуре и текстуре, а потому легко узнаются с использованием простых картировочных признаков на обнажениях, в выработках и керне скважин. В каждой пробе уверенно определяются их количественные отношения. В результате выделяется несколько типов руд, каждый из которых находит место на вертикальной проекции Слепой залежи (фиг. 10 и табл. 3).

Наиболее распространенные апоскарновые рудоносные метасоматиты (недаром месторождения этого типа обычно классифицируют как скарновые), входят в состав всех типов руд. Обоснование выделения I и II типов, в которых они доминируют (70–90%), сделано выше (см. фиг. 5 и текст к нему). Два типа разделяются по преобладанию среди исходных пород соответственно эндо- и экзоскарнов. Положение на проекции и само выделение следующих трех типов обосновано заметной ролью в их составе других фаций продуктивных метасоматитов (и, соответственно, исходных пород): в III типе – до 50% околоскарновых пород (см. фиг. 6); в IV – до 25% роговиков (см. фиг. 7); в V – до 25% мраморов (см. фиг. 8).



Фиг. 10. Распределение природных типов руд в Слепой залежи, представленное на проекции на вертикальную плоскость. 1–4 – максимумы % доли исходных пород в руде: 1 – скарнов; 2 – околоскарновых пород; 3 – мраморов; 4 – роговиков (в соответствии с фиг. 5–8). 5 – граниты Эльджуртинского массива. 6 – зона интенсивного гипергенного изменения. I–VII – природные типы руд. Пояснения в тексте и табл. 3.

Таблица 3. Соотношение (%) скарнов, околоскарновых пород, роговиков и мраморов в составе главных типов руд Слепой залежи (см. фиг. 10)

Тип руд	Скарны	Соотношение экзо- и эндо-скарнов	Околоскарновые породы	Роговики	Мраморы
I	80–90	2/8	5–15	0–10	0
II	70–80	7/3	0–15	0–5	5–15
III	50–60	1/9	40–50	5–10	0–5
IV	30–50	1/9	20–30	15–25	0–5
V	70–80	9/1	0–20	0	15–25
VI	30–40	1/9	35–45	10–20	0
VII	20–35	5/5	30–40	5–15	10–20

Перекрытия максимумов создают участки, в которых существенную роль приобретают несколько фаций. Из них заметную площадь на проекции занимают VI тип, в котором примерно равную роль играют руды по эндоскарнам и околоскарновым породам и до 20% – по роговикам, а также VII – с существенными составляющими всех фаций продуктивных метасоматитов.

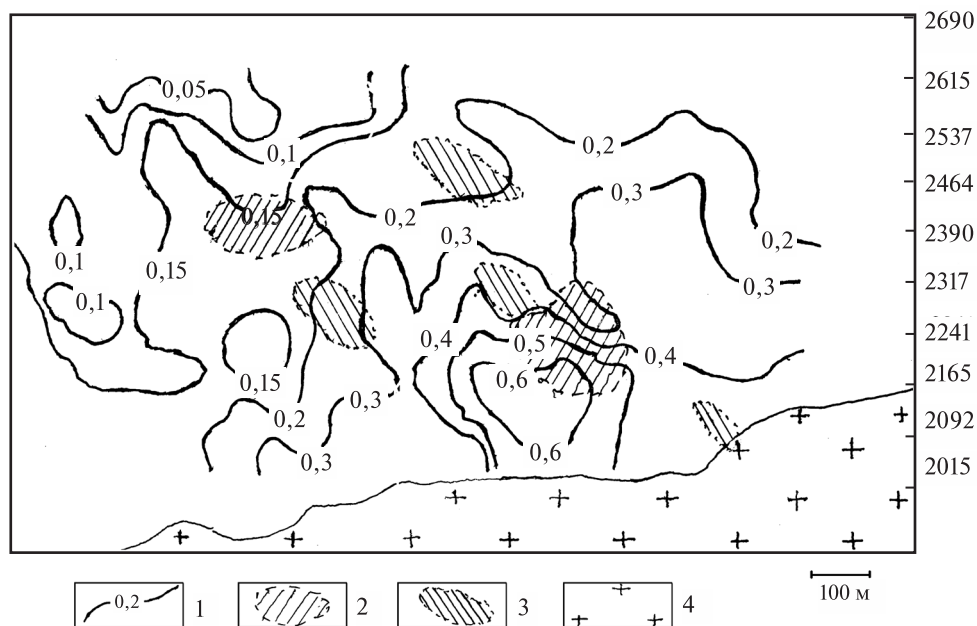
Минеральные ассоциации гидротермального этапа (см. фиг. 9) из-за незначительного масштаба и низких содержаний рудных минералов не нашли места на фиг. 10. Важнее учет гипергенных изменений, ореол которых наложен на все типы руд и показан на фиг. 10 точечным крапом. С ними связаны нежелательные появление глинистых минералов и повеллитизация молибденита.

Руды с наибольшими содержаниями WO_3 (фиг. 11) приурочены к горизонтам ниже отметки 2240, к центральной и восточной частям рудного тела. Их распространение относится к полям развития I и III типов руд. Другая важная характеристика руд, отраженная на фиг. 11, – это размер зерен молибдошеелита. Серия максимумов развития самых мелких зерен (<0.1 мм) связана с вкрапленностью в волластонит-везувиановых метасоматитах (типы руд II и V) на средних и высоких горизонтах центральной части рудного тела. Два максимума самых крупных (>0.5 мм) зерен в центральной и западной частях залежи связаны с наибольшим развитием жил в околоскарновых породах (во II типе) и мраморах (в V типе).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разнообразие Mo-W руд Слепой залежи, как и всего Тырныаузского месторождения, связано с тем, что промышленные концентрации относятся к послескарновому этапу образования. Вкрапленность рудных минералов – молибдошеелита, шеелита и молибденита – приурочена к метасоматитам и жилам, наложенным на скарны, околоскарновые породы, роговики и мраморы. Типы руд выделяются по соотношениям в них рудоносных метасоматитов разных фаций и исходных пород, являющихся для них разубоживающей массой.

Каждый тип обладает устойчивым минеральным и химическим составом, унаследованным от исходных пород. Как показали результаты технологических испытаний, в случае смешения руд



Фиг. 11. Изолинии содержания WO_3 в рудах Слепой залежи по данным опробования (1) и максимумы (>20 мас.%) содержаний в руде зерен шеелита: 2 – размером более 0.5 мм; 3 – размером менее 0.1 мм; 4 – граниты Эльджуртинского массива. Проекция на вертикальную плоскость.

разных типов с контрастным составом и свойствами резко нарушается эффективность измельчения и последующих процессов флотации.

Руды конкретного типа имеют простые отличительные признаки (цвет, структура, текстура), удобные для документирования разведочных выработок и скважин, картирования, что и осуществлено в настоящей статье. Эти признаки могут быть использованы при ручной разборке штUFFов и проб, а также предварительной порционной сортировке и сепарации руд.

Руды имеют узкий интервал изменений размера и формы зерен рудных минералов и их сростаний, а также содержаний минералов, играющих вредную роль при измельчении и флотации, к которым относятся, например, биотит и другие слоистые силикаты, кальцит, флюорит.

Сравнительно небольшие различия содержаний полезных компонентов в каждом типе руд открывают возможности их селективной отработки и шихтовки.

Результаты картирования позволяют наметить перспективные участки для попутной добычи сопутствующих видов сырья. Возможными объектами могут быть гранат – в связи с I типом руд, волластонит и флюорит – со II, V и VII, пироксен-плагиоклазовые породы – с III и VI. Из рудного сырья интерес могут представлять медь и золото в зонах минерализации гидротермального этапа. Следует иметь в виду, что в северной части Тырнаузского рудного поля проводится разведка золотого месторождения.

Минералогическое картирование представляет важный этап в типизации руд, вскрывая главные факторы, влияющие на их разнообразие. Вместе с тем данные, полученные при таком картировании, необходимы, но не достаточны для использования при планировании добычных работ, составлении рудной шихты и оптимизации режима измельчения и последующих процессов переработки руд. Эти исследования, нацеленные на выделение и картирование технологических типов руд, составляли второй этап работ, результаты которого авторы надеются изложить в следующей публикации¹.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны С.М. Ключаревой и Л.Д. Евлевской, выполнившим в свое время огромный объем минерало-петрографических исследований, а также ведущим геологам Тырнаузского комбината Г.А. Семочкину и С.Д. Джубуеву за благожелательное содействие работам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Борсук А.М. Мезозойские и кайнозойские магматические формации Большого Кавказа. М.: Наука, 1979. 299 с.
Граменицкая П.Н., Граменицкий Е.Н., Кононов О.В. Химические типы амфиболов Тырнаузского месторож-

¹ Во время подготовки статьи к печати в конце 2018 г. в издательстве Де'Либри, Москва опубликована монография О.В. Кононова и И.Д. Устинова "Тырнауз. Технологическая минералогия", 326 с.

- дения // Вестн. Московского ун-та. Сер. IV. Геология. 2013. № 4. С. 34–42.
- Граменицкий Е.Н. Петрология метасоматических пород. М.: ИНФРА-М, 2012. 220 с.
- Граменицкий Е.Н. Минеральные ассоциации и химизм минералов серии биотита месторождения Тырнауз // Записки РМО. 2016₁. № 1. С. 105–121.
- Граменицкий Е.Н. Околорудные метасоматические изменения в биотитовых роговиках месторождения Тырнауз // Геология руд. месторождений. 2016₂. Т. 58. № 5. С. 492–495.
- Граменицкий Е.Н., Зиновьева Н.Г. Минеральные фации формации кварц-полевошпатовых метасоматитов // Метасоматизм и рудообразование. М.: Наука, 1984. С. 104–114.
- Граменицкий Е.Н., Аранович Л.Я., Кононов О.В. Скарны Тырнауза, минеральные ассоциации и физико-химические условия образования // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 1976. № 1. С. 51–62.
- Граменицкий Е.Н., Елисеева Н.А., Иванов А.Г. Зональность скарнов Тырнаузского рудного поля // Метасоматизм и рудообразование. М.: Наука, 1974. С. 136–142.
- Граменицкий Е.Н., Зиновьева Н.Г., Кононов О.В. и др. Типоморфизм плагиоклаза и вертикальная зональность продуктивных метасоматитов Тырнауза // Метасоматизм и рудообразование. М.: Наука, 1978₁. С. 62–70.
- Граменицкий Е.Н., Зиновьева Н.Г., Кононов О.В. и др. Основные черты минералогии и зональности послескарновых продуктивных метасоматитов Тырнауза // Очерки физико-химической петрологии. Т. 7. М. 1978₂. С. 13–26.
- Граменицкий Е.Н., Щекина Т.И., Чеховских М.М. Экспериментальные данные об ограниченной смесимости в изоморфном ряду шеелит-повеллит // Геохимия. 1980. № 8. С. 1158–1165.
- Жариков В.А. Кварц-полевошпатовые метасоматиты в скарновых месторождениях // Доклады АН СССР. 1961. Т. 138. № 3. С. 671–673.
- Кононов О.В. Процессы молибдено-вольфрамового оруденения в скарнах Тырнаузского месторождения: Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1963.
- Кононов О.В. Структуры распада твердых растворов в молибдосшеелите // Докл. АН СССР. 1972. Т. 202. № 5. С. 1172–1173.
- Кононов О.В., Граменицкий Е.Н. Зональность молибдено-вольфрамового оруденения Тырнауза (Северный Кавказ) // Геология руд. месторождений. 1972. Т. 14. № 1. С. 6–18. [Перевод на японский язык: Bull. Geol. Surv. Japan. 26(9). 1975. P. 39–50].
- Коржинский Д.С. Очерки метасоматических процессов // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М.: Изд. Академии Наук СССР, 1953. С. 332–452.
- Ляхович В.В. Связь оруденения с магматизмом (Тырнауз) // М.: Наука, 1976. 424 с.
- Пэк А.В. Геологическое строение рудного поля месторождения Тырнауз // М.: ИГЕМ АН СССР, 1962. Вып. 56. 167 с.
- Рехарский В.И. О связи молибденита и шеелита с полевошпатово-кварцевой стадией минералообразования на некоторых скарново-редкометалльных месторождениях // Докл. АН СССР. 1961. Т. 139. № 4.

Mineral associations and Mo-W ore types of the Slepaya Zalezh' orebody at Tyrnyauz deposit

E. N. Gramenitskiy¹, O. V. Kononov¹

¹Geological faculty of Lomonosov Moscow State University, Russia

Slepaya Zalezh is the largest ore body of the Tyrnyauz Mo-W deposit. It is the priority object on the renewal of its operation. A dissemination of molybdoscheelite, scheelite and molybdenite, controlling ore concentrations, is confined to metasomatic rocks of the productive stage, laid on skarns, near-skarn rocks, hornfelses and marbles. The types of the ores are divided accordingly of ratio in them of different facies of ore-bearing metasomatic and initial rocks, which is a working out mass of ore. 7 types of the ores are divided and mapped on the ore body vertical projection. Aposkarn ores predominate clearly in the I and II types, accordingly laid over endo- (substituting hornfelses) or exo- (apomable) skarns. In the III type there are ores laid over endo-skarns and near-skarn rocks in equal parts. Relative to it the type IV contain less of of near-skarn rocks, but more of hornfelses. Ores replacing exo-skarns and to a lesser degree (up to 25%) – marbles dominate in the V type. The type VI is an intermediate one between the types III and IV. In the type VII all initial rocks are presented. Every of the types has a stable mineral and chemical composition inherited from the initial rocks. The ores of the specific type have convenient simple distinguishing features for a hand sorting of specimens, samples, and a preliminary ore separation. The types of ores have narrow change limits in size and form of ore mineral grains and their intergrowthes, percentage of minerals harmful for the flotation. Minor differences in contents of the useful components of each ore type offer possibilities of their selective working off and burdening. Mapping results contain data of the distribution of accompany sorts of mineral resources: garnet and wollastonite in the skarns and productive metasomatic rocks, pyroxene-plagioclase near-skarn rocks and hydrothermal altered rocks with Cu, Au and other mineralization.

Keywords: natural ore types; mapping; Slepaya Zalezh ore body; Tyrnyaus deposit; mineral association; productive metosomatic rocks; skarn, near-skarn rocks; molybdoscheelite; scheelite; molybdenite

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0016-777061472-91>