

в ненарушенной последовательности можно проследить часть зональности в основном завершающейся зоной пироксенитового прожилка или неистощенных гарцбургитов.

Таким образом, на основании детальных исследований в пределах рудных полей Хойлинское, Юньягинское и Егартинское установлен ряд закономерностей строения дунитовых тел и уточнены критерии и признаки локализации высокохромистого оруденения в дунит-гарцбургитовом структурно-вещественном комплексе.

— одним из основных факторов формирования масштабного хромового оруденения является наличие на рудоперспективных площадях достаточно крупных дунитовых тел, мощностью от первых сотен метров и протяженностью первые километры, которые являются рудовмещающими, а также, вероятно, и рудогенерирующими;

— рудные «горизонты» (зоны) формируются в приконтактных частях симметрично относительно дунитового тела. Расстояние от контактов с гарцбургитами составляет от первых до первых десятков метров. Рудный «горизонт» характеризуется повышенной вкрапленностью, шлировидными обособлениями, различной формы гнездами и линзами хромитита. Мощность рудного «горизонта» в Юньягинском теле дунитов составляет 120 м, в Егартинском теле — около 100 м, в Хойлинском — 30–80 м;

— размеры кристаллов оливина, слагающего дуниты рудного «горизонта», согласно текущим полевым наблюдениям, несколько меньше, чем во вмещающих безрудных дунитах;

— состав аксессуарной хромшпинели в рудовмещающих дунитах близок к составу хромшпинели в рудных телах рудного «горизонта» и в общих чертах характеризует тип руд (средне- высокохромистый или глиноземистый) [1, 2];

— наличие крупных дунитовых апофиз, которые могут выполнять функцию ловушки в процессе миграции рудоносного расплава, является положительным фактором для выявления значительных рудных скоплений;

— дуниты материнского тела отличаются по своим магнитным свойствам: гигантокристаллические дуниты ядерной части характеризуются более высокими значениями магнитной восприимчивости ($3-5 \times 10^{-3}$ ед. СИ); дуниты рудного «горизонта», как и интратрудные дуниты имеют пониженные значения магнитной восприимчивости (около $0,4-0,7 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ); в рудных сегрегациях значения: $1-2 \times 10^{-3}$ ед. СИ. Уровень серпентинизации пород оказывает влияние на увеличение значений магнитной восприимчивости, но, несмотря на это пропорции значений магнитной восприимчивости в породах сохраняются.

Выявленная зональность представляет собой реконструированный разрез мантии, характеризующий взаимоотношения структурно-вещественных зон в общем разрезе дунит-гарцбургитового СВК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брянцианинова, Н.И. Породообразующие силикаты ультрабазитов как индикаторы условий образования и рудоносности / Н.И. Брянцианинова // Серия препринтов «Научные доклады». Коми науч. центр УрО АН СССР, 1990. — Вып. 226. — 24 с.
2. Макеев, А.Б. Топоминералогия ультрабазитов Полярного Урала / А.Б. Макеев, Н.И. Брянцианинова. — СПб.: Наука, 1999. — 252 с.

© Прудников И.А., Гайкович М.М., Зублюк Е.В., 2020

Прудников Илья Александрович // prudnikov@gmail.ru

Гайкович Михаил Михайлович // mikeroro@mail.ru

Зублюк Екатерина Владимировна // vims-zublyuk@mail.ru

УДК 553.061.12:553.463

Митрофанов Н.П., Бурова Т.А., Макаров А.И.
(ФГБУ «ВИМС»)

МОДЕЛИ ВОЛЬФРАМОРУДНЫХ УЗЛОВ И ПОЛЕЙ (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)

*Современные представления о развитии земной коры позволяют по-новому рассматривать условия формирования рудно-магматических систем узлов и полей, вмещающих промышленные месторождения вольфрама полиметалльно-вольфрамовой формации (апоскарноватый тип). Выделены их основные прогнозно-поисковые критерии и признаки, нацеленные на выявление в рудных районах потенциально перспективных площадей, вмещающих скрытое оруденение. **Ключевые слова:** шеелит, месторождения, узлы, поля, Дальний Восток.*

Mitrofanov N.P., Burova T.A., Makarov A.I. (VIMS)

MODELS OF TUNGSTEN NODES AND FIELDS (FAR EAST)

*Modern ideas about the development of the earth's crust make it possible to consider in a new way the conditions for the formation of ore-magmatic systems of knots and fields containing industrial tungsten deposits of a polymetallic tungsten formation (aposkarnova type). Their main forecasting and search criteria and signs are identified, intended to identify potentially promising areas in the ore areas containing hidden mineralization. **Keywords:** scheelite, deposit, knot, field, Far East.*

С исчерпанием фонда вскрытых эрозией месторождений актуальным становится прогноз и поиски объектов, рудные тела которых не выходят на поверхность. Задача современных исследований — выделение рудных узлов и полей, перспективных для локализации скрытых скоплений полезных ископаемых, пригодных для промышленного освоения. В опубликованной работе [8] приведены материалы, по которым составлены модели Шивкинского рудного узла и Лермонтовского рудного поля, вмещающие среднее по масштабу с высоким содержанием металла одно-

именное с полем месторождение вольфрама полиметалльно-вольфрамовой формации. Они расположены в Нижне-Бикинском рудном районе Центральной металлогенической зоны Сихотэ-Алинской провинции. В этой же провинции и металлогенической зоне находятся крупные месторождения вольфрама Восток 2 и Скрытое той же формации. Настоящая статья посвящена составлению моделей, вмещающих их вольфраморудных узлов и полей. В основу ее положены результаты научных исследований [2, 3, 4 и др.], материалы Государственной геологической карты РФ масштаба 1:1 000 000 (третье поколение) лист (L-53), среднемасштабных геологосъемочных работ (листы L-53-XVI и L-53-XVII), морфоструктурные реконструкции и интерпретации геофизических полей в технологии КОСКАД 3D.

Месторождения Восток 2 и Скрытое находятся в Центральной зоне Сихотэ-Алинской складчатой системы [5], сложенной образованиями аккреционно-коллизийного сучивания океанической плиты и пассивной континентальной окраины, которые рассматриваются как аллохтонный олистостромовый комплекс сложного внутреннего строения. При геодинамических реконструкциях Центральная зона выделена в Самаркинский террейн аккреционной призмы, выполненный преимущественно океаническими породами с основным цементом окружающих турбидитов [3, 13]. Как показано в опубликованной первой части работы, месторождения полиметалльно-вольфрамовой формации локализируются в тыловых зонах аккреционных призм, сложенных преимущественно островодужными и океаническими породами, а месторождения полиметалльно-оловянной формации — во фронтальных зонах, где преобладают терригенные отложения пассивных континентальных окраин. В Самаркинском террейне тыловая зона, занимающая его юго-восточную окраину, представлена на геолого-структурной схеме Центральной зоны [5] как Хорско-Тормасинская (на севере) и Самаркинская (на юге) подзоны. В первой подзоне локализовано месторождение Восток 2, во второй — месторождение Скрытое. Фронтальная зона вытягивается вдоль северо-западной окраины террейна и выделена в составе Хорско-Ариадненской подзоны, в которой доминируют алевролиты и песчаники. В ней совместно с вольфрамом широко развито олово. Вольфрам с оловом разведан в небольшом месторождении Кафэн. На западной границе зоны с Ханкайским кристаллическим массивом вскрыты мелкие оловянные месторождения (Кировское, Распашное). Такого же масштаба оловянные месторождения (Наумовское и Сланцевое) установлены и на отдельных участках Самаркинской подзоны, свидетельствуя о присутствии в ней блоков (субтеррейнов) континентальных отложений.

Металлогенические особенности толщ Центральной зоны были установлены еще ранними геохимическими исследованиями, когда она выделялась как Главный антиклинорий Сихотэ-Алиня (1969 г.). В его

составе выделялись терригенные и терригенно-кремнисто-эффузивные толщи, опробование которых показало среднее содержание вольфрама в первых — 1,7 г/т, а во вторых — 3,1 г/т [6]. Геохимическое изучение татибинской терригенно-кремнисто-эффузивной толщи в районе месторождения Восток 2 установило среднее содержание вольфрама 3,0 г/т. Тогда же И.Н. Говоровым, изучавшим на больших территориях геохимию пород улахинской серии, выполняющей Главный антиклинорий, были определены средние содержания вольфрама в песчаниках 1,8 г/т, алевролитах 3,3 г/т, сланцах и аргиллитах 3,5 г/т, кремнистых и глинисто-кремнистых породах 2,7 г/т [4].

В металлогеническом районировании составители геологической карты III поколения не используют предложенное ими геолого-структурное районирование. На фрагменте карты (рис. 1) выделенный в Центральной зоне Среднеуссурско-Дальненский олово-вольфрамовый рудный район простирается из Хорско-Тормасинской подзоны, металлогенически специализированной на вольфрам, в Хорско-Ариадненскую подзону, специализированную на олово и вольфрам. То же самое относится и к выделению площади Восточного золото-вольфрамового рудного узла, в котором локализовано месторождение Восток 2. Изучение геодинамического развития зоны и геохимии олистостромового комплекса дают все основания выделить в составе Хорско-Тормасинской подзоны самостоятельный вольфраморудный район. В его пределах откорректировать площадь Восточного рудного узла в рамках купольной морфоструктуры, размер которой соответствует градации узла. Морфоструктура выделяется на границе листов L-53-XVI и XVII, где находится вытянутая в северо-восточном направлении горная возвышенность, вершинные поверхности которой находятся в интервале высот 700–1000 м. Удлиненные ее стороны ограничены линеamentами, по которым с севера-запада трассируется зона Центрально-Сихотэ-Алинского тектонического шва, с юго-востока — крупным разломом по руч. Лагерный (на юге) и р. Каяли (на севере). С севера и с юга она ограничена долинами рек Бикин и Дальней. В обозначенных границах ее площадь превышает 300 км². На юге в ее наиболее возвышенной части в четком полукуполе размером 20 км² выделен контур рудно-магматической системы рудного поля, в центре которого находится месторождение Восток 2. На севере в близкой по размерам полукупольной морфоструктуре, но с более низкими вершинными поверхностями, обозначены границы Тиссового рудного поля с одноименным рудопроявлением.

Сведения о геологическом строении месторождения Восток 2, особенностях его оруденения приведены во многих публикациях [3, 10, 11 и др.]. Описанию же Восточного рудного узла и поля не уделялось внимания. На территории узла распространены аллохтонные вулканогенно-осадочные образования аккреционной призмы. Они представлены олистостромовыми толщами алевролитового состава, матрикс которого

включает переменные количества разноразмерных пластов кремней, глинисто-кремнистых пород с обломками и обрывками пластов туффилов, базальтов, спилитов, андезитов, известняков, пачек флишеидных отложений, переходящих в меланжевые микститы как по латерали, так и по вертикали. В процессе аккреции океанических образований к материковым они подверглись интенсивной тектонизации и сучиванию. Общая мощность их оценивается в 15 000 м. Возраст олистостромового комплекса датируется по времени образования связывающего их меланжа средней-верхней юрой. Средние содержания вольфрама в породах комплекса определяются в 3,0–3,5 г/т, при высоких его колебаниях. В рудном районе вокруг узла широко развиты терригенные отложения (алевролиты, пес-

чаники, гравелиты, конгломераты), представляющие меловой автохтонный комплекс пассивной континентальной окраины. Мощность их достигает 1500 м. На территории высокогорной части Восточного узла они разрушены эрозией.

По периферии узла выходят крупные массивы коллизионных интрузий, объединяемых в татибинский гранодиорит-гранитный комплекс, образованный завершающей фазой коллизионно-аккреционных процессов, приходящейся на рубеж раннего-позднего мела [3]. На западе вдоль Центрального Сихотэ-Алинского тектонического шва вытягивается Бисерный массив биотитовых гранитов и лейкогранитов. На юге располагается Дальненский массив, протягивающийся от узла в юго-западном направлении. Он контролирует

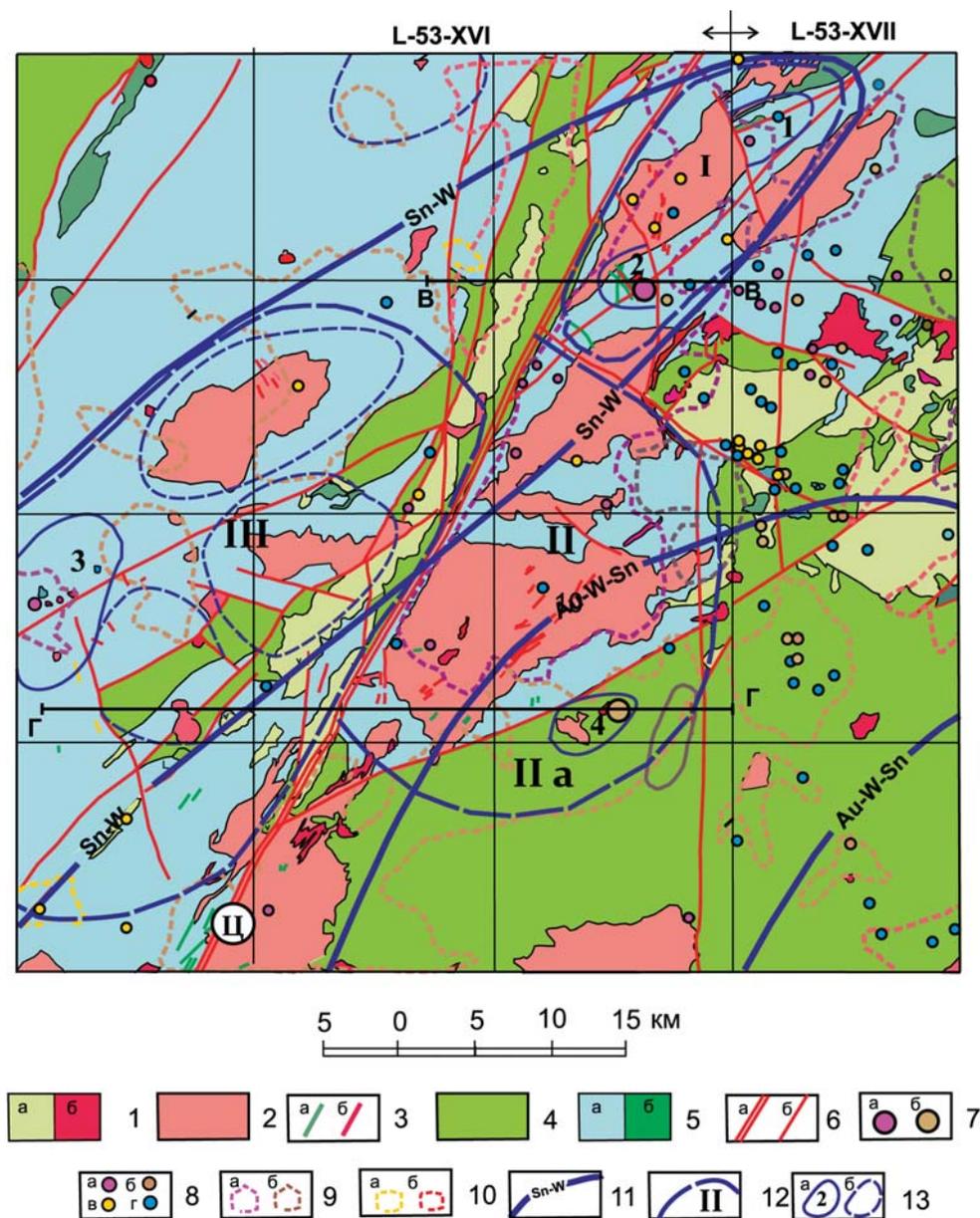


Рис. 1. Карта геодинамических комплексов и полезных ископаемых. Среднеуссу́рско-Дальненского и Арминского рудных районов (лист L-53-XVI – XVII): 1 — надсубдукционные вулканоплутонические комплексы (K_2): а — вулканический: андезит-дацит-риолитовый: лавы, туфы, туфолавы; б — интрузивный: диорит-гранодиорит-гранитный; 2 — коллизионный (татибинский) гранодиорит-гранитный комплекс (K_1): монцодиориты, биотитовые гранодиориты, плагиограниты, двуслюдяные граниты, лейкограниты; 3 — дайки гранит-порфиоров, аплитов, диоритовых и диабазовых порфириров; 4 — автохтонный пассивной континентальной окраины терригенный комплекс (K_1): алевролиты, песчаники, гравелиты, конгломераты; 5 — аллохтонные островодужно-океанические комплексы аккреционных призм (Т-1): а — терригенные, карбонатные, кремнистые, базальтоидные породы разного происхождения и возраста, связанные алевро-глинистым матриксом, б — крупные блоки основных и ультраосновных пород; 6 — тектонические нарушения: а — Центрально-Сихотэ-Алинский тектонический шов (Ц), б — коровые разломы; 7 — месторождения: а — Восток 2, б — Тигриное; 8 — рудопроявления: а — вольфрама, б — олова, в — золота, г — полиметаллов; 9–10 — шлиховые ореолы: 9 — а — шеелита, б — касситерита (и шеелита), 10 — а — золота, б — киновари; 11–13 — границы разноранговых таксонов: 11 — руд-

ных районов по [5]: Среднеуссу́рско-Дальненский (Sn-W) и Арминский (Au-W-Sn), 12 — рудных узлов (выделены по купольным морфоструктурам): I — Восточный, II — Дальненский, IIб — Тигриный, III — Безымянный; 13 — рудных полей: а — установленные: 1 — Тиссовое, 2 — Восток 2, 3 — Радужное, 4 — Тигриное, б — потенциальные

ется разрывным нарушением, ограничивающим узел с юго-востока. Этот же разлом трассирует Каялинский массив, вытянутый вдоль границы узла на северо-востоке. В этих массивах широко распространены гранодиориты, в меньшей мере граниты, при подчиненной роли монцодиоритов и лейкогранитов. Они прорываются дайками гранит-порфиоров, кварцевых порфиоров, аплитов и диабазовых порфириров. Гранитоиды комплекса сформировались в три фазы: 1) амфибол-биотитовые монцодиориты, гранодиориты, адамелиты (128 млн лет), 2) мусковит-биотитовые граниты (111 млн лет), 3) лейкократовые граниты (98 млн лет). С последними сближены по времени дайки аплитов и порфириров. По петрографическим и петрохимическим данным гранитоиды первой фазы обладают повышенной основностью и по соотношению щелочей и кремнезема отвечают кварцевым монцонитам, кварцевым сиенитам, граномонцонитам [10]. Они отличаются преобладанием плагиоклаза над калишпатом, большим количеством биотита и аномальными содержаниями апатита. Гранитоиды второй и третьей фазы соответствуют гранитам и лейкогранитам нормальной и высококалиевой известково-щелочной серии. Характерно неравномерно меняющиеся в них соотношения плагиоклаза с калинатровым полевым шпатом. Изменения пород в процессе гомеотропной эволюции нашло отображение и в неординарном изменении содержания вольфрама в породах [12]: кварцевые монцониты и гранодиориты — 3,4 г/т, адамелиты — 4,9 г/т, граниты — 2,6 г/т, лейкограниты — 2,3 г/т, аплиты — 2,2 г/т.

На территории узла отмечается широкий шлиховой ореол шеелита с редкими зернами вольфрамита. В пределах массивов не наблюдается значительных скопелений вольфрама. Повышенные концентрации его отмечаются только в приконтактовых участках, где наблюдаются проявления грейзенизации, окварцевания и скарнирования пород (рудопоявление Тиссовое и др.).

Месторождение Восток 2 находится в удалении от массивов в южной части узла на вершине локальной купольной морфоструктуры. Она сложена регионально метаморфизованными (биотитизированными и прокварцованными) породами олистостромовой толщи. Месторождение находится на пересечении крупнопадающих разломов северо-восточного и северо-западного направлений. Четко прослеживается зона последнего по проложению даек кислого и основного составов, а в месте пересечения — по сосредоточению мелких штоков гранит-порфиоров и Центрального штока гранодиоритов. Состав штока в контактовой зоне со скарнами отвечает плагиогранодиориту. В разделяемом их северо-восточном нарушении локализована главная рудная залежь месторождения.

Плагиогранодиориты штока отличаются повышенной основностью от всех гранитоидных пород узла. Детально изучавшая их петрографический состав М.Г. Руб [10], отмечает преобладание в плагиогранодиорите плагиоклаза — андезин-олигоклаз (45—

50 %), низкие содержания калиевого полевого шпата (10–16 %), кварца (15–20 %) и повышенные биотита (10–15 %). По петрохимическим особенностям он находится между кварцевыми диоритами и гранитами по Дэли. С первыми он несопоставим по большому количеству кремнезема и окиси калия и меньшему — окиси кальция и магния. От вторых — по меньшему количеству кремнезема и щелочей (особенно калия) и повышенным содержанием окислов кальция и магния. Образование плагиогранодиоритов в приконтактовой зоне, их своеобразный состав, резко отличающийся от гранодиоритов штока, с которым они имеют постепенные взаимопереходы, одновременность и близкие высокотемпературные условия образования с экзоконтактовыми скарнами, общая оторванность с ними от времени рудообразования [11] позволяет рассматривать их как скарновый продукт поздней магматической стадии, обязанный контактово-реакционному процессу (в понимании Д.С. Коржинского, 1953).

Штоки гранит-порфиоров в рудном поле сложены калиевым полевым шпатом (45 %), кварцем (35 %), альбит-олигоклазом (15 %). По химическому составу они занимают промежуточное положение между гранитами и аляскитами по Дели. От гранитов отличаются большим количеством кремнезема и меньшим окислов калия и кальция. От аляскитов — меньшим количеством кремнезема и кальция. По составу они ближе к гранитам Биссерного массива, но с большими содержаниями кальция и натрия. Общим для гранитоидов узла и поля является пересыщенность глиноземом, повышенное количество редких щелочей и летучих, особенно фтора в заключительных фазах. При средних содержаниях вольфрама в породах в два раза превышающих кларк, их отличают высокие содержания в гранитоидах повышенной основности и снижающиеся содержания в кислых и ультракислых. Многочисленные дайки порфириров по возрасту наиболее сближены с оруденением. Они в значительной мере подверглись вторичным изменениям. Их петрохимия отвечает составу лампрофира. Вместе с одно-возрастными дайками аплитов они рассматриваются как дайки второго этапа [10].

Представление о внутреннем строении гранитоидных масс на глубине в пределах рудного узла можно получить по их плотностным горизонтальным и вертикальным срезам (рис. 2), моделируемым в гравиметрических полях программой КОСКАД 3D [9]. На поверхности гранитоиды широко распространены. На глубине 5 км, судя по зоне разуплотнения в южной части узла (рис. 2А), массы их, уменьшаясь в размерах, прослеживаются в едином теле с Биссерным массивом. С продолжением последнего, возможно небольшое разуплотнение на севере узла. На глубине 10 км фиксируется снижение интенсивности разуплотнения и смещение его в северо-восточном направлении. На разрезе по линии В-В (рис. 2Б) их единое с Биссерным массивом тело сужается на глубину. На западе оно ограничено прямолинейным нарушением, фик-

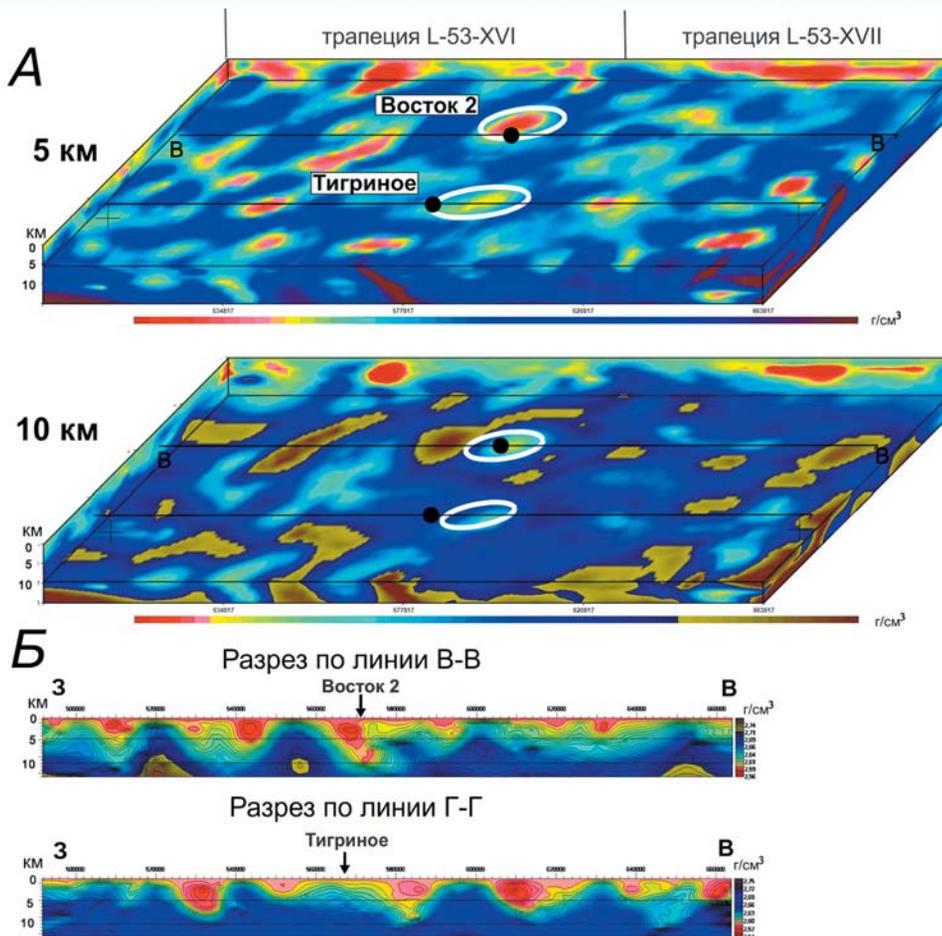


Рис. 2. Плотностные срезы на глубине 5 и 10 км (А) и плотностные разрезы по линиям В-В и Г-Г (Б), построенные в программе моделирования КОСКАД 3D

сирующим границу рудного узла, падающую в восточном направлении. На востоке ее ограничение более сложное. На глубине можно предположить его совпадение с зоной нарушений, по которой ограничивается зона разуплотнения. В центре этой структуры на глубинах 2–5 км выделяется небольшое разуплотнение, над которым расположена купольная морфоструктура рудного поля. Она сложена олистостромовыми образованиями. В центре их прорывает шток гранодиоритов. Он подрезан крутопадающим нарушением северо-восточного простирания, в котором локализовано главное рудное тело месторождения Восток 2. Наблюдаемая обстановка позволяет считать шток как апофизу периферического очага Биссерного массива ранней стадии его становления. Удивляет отсутствие разуплотненных гранитоидов Дальненского и Каялинского массивов на срезах 5 и 10 км. Предположительно это можно объяснить изостатическим влиянием их плитообразных тел и разрушением эрозией. В настоящее время на поверхности остались только их подошвы.

Главное рудное тело месторождения Восток 2 представляет собой крутопадающую залежь, прослеженную по простиранию на 600 м, падению более 700 м, с меняющейся мощностью, в максимуме не превышающей 70 м. Рудообразование сопровождается апоскар-

новым инфильтрационным метасоматозом. При общем окварцевании пород в приконтактных плагиогранодиоритах он отобразился в грейзенизации, в скарнах — амфиболизацией и хлоритизацией и серицитизацией [12]. Руды, развивающиеся по грейзенизированным плагиогранодиоритам, имеют шеелит-кварцевый состав, по скарнам и скарнированным биотитовым роговикам — шеелит-сульфидный состав. В рудоотложении сульфидных парагенезисов намечается минеральная зональность. При повсеместном присутствии в рудах пирротина она выражается сменой по удалению рудного тела от контакта со штоком парагенезиса арсенопирита с бедными концентрациями шеелита парагенезисом халькопирита с богатыми содержаниями шеелита, далее сменой парагенезиса шеелита со сфалеритом и фланговой ассоциацией сходящего на нет шеелита с галенитом [11].

В пределах рудного поля самостоятельных рудопроявлений сопутствующих вольфраму металлов не выявлено. Рудопроявление свинца встречено только в Тиссовом поле. Они также отмечены в средней части узла, которое занимает тело Биссерного гранитного массива. На ней не встречено рудопроявлений вольфрама, но золото-спектральным анализом выявлены проявления золота. В краевых частях узла редко встречаются проявления олова, но в шлиховых ореолах касситерит и шеелит широко распространены за его пределами (рис. 1).

В приведенном материале отметим основные факторы и элементы, отвечающие за локализацию рудных скоплений вольфрама в строении рассмотренных таксонов. Рудно-магматическая система узла на поверхности выделяется в контуре вытянутой куполообразной морфоструктуры размером 300 км². В объеме она представляет опрокинутую конусообразную рудно-магматическую структуру, осложненную с трех сторон разрывными нарушениями, проявленными на поверхности. Структура развивалась в аллохтонном олистостромовом комплексе, сложенным преимущественно островодужными и океаническими образованиями, скученными и тектонизированными в зоне аккреции с терригенными отложениями пассивной континентальной окраины. Средние содержания вольфрама в породах комплекса 3,0–3,5 г/т. Его мощность не ме-

нее 15 км. Развивающиеся в его субстрате гранитоиды унаследуют их вольфрамоносность. Количество вольфрама в них — 2–10 г/т, достигает 24–40 г/т [10], что значительно превышает кларк для кислых пород.

В процессе гомодромной дифференциации рудогенерирующие гранитоиды меняют состав от диоритов до лейкогранитов. В составе крупных массивов преобладают гранодиориты и граниты. Из-за сильной денудации обнаружение в них значительных скоплений вольфрама, локализующихся в околоинтрузивных зонах, маловероятно. Они формируются в закрытых условиях периферических очагов, развивавшихся внутри олистостромовых образований. Такая обстановка отражена на геолого-геофизической модели вольфрамурудных узла и поля, вмещающих месторождение Восток 2 (рис. 3). Под закрытой олистостромой находится наиболее разуплотненная масса гранитоидов, проявляемая на поверхности воздыманием локальной морфоструктуры размером 20 км². На месторождении плагиогранодиориты, скарны и карбонатсодержащие биотитовые роговики, образовавшиеся при высокотемпературных процессах контактово-реакционного скарнирования, создали благоприятные предпосылки для рудоотложения. Последнее происходило в апоскарновую стадию при грейзенизации гранитоидов и окварцевании, амфиболитизации, эпидотизации и других гидротермально-метасоматических преобразований скарнов и биотитовых роговиков.

Собранные сведения позволяют воспроизвести возможный вариант истории формирования месторождения. В процессе гранитизации содержащийся в океаническом субстрате вольфрам концентрируется в гранитоидах повышенной основности, связываясь кальцием. При раскислении гранитоидов и ростом активности щелочей, особенно калия, количество кальция в породах уменьшается, а связываемый им вольфрам переходит в подвижные соединения вольфрамовой кислоты и сбрасывается в остаточные растворы [7]. Этот переход резко усиливается в процессе контактово-реакционного скарнирования, когда гранодиориты преобразуются в плагиогранодиориты, а карбонатсодержащие осадочные породы в скарны и скарноиды. Кальций, содержащийся в породах, при этом процессе вытесняется натрием, железом, магнием, а освободившийся от его связей вольфрам, транспортировался избыточными кислотными растворами в остаточную камеру.

Значительные накопления кремнекислоты и рудных элементов могли происходить только в закрытых остаточных камерах, когда все разрывы в

чехле, возникающие при функционировании очага, заполнялись дифференциатами магматического расплава. После становления гранитоидных масс при последующих подвижках из верхней остаточной камеры, заполненной кислотными образованиями, и нижней, наполненной подвижными основными (лампрофировыми) отстоями, происходило внедрение даек второго этапа, способствующих освобождению из камер и подъему в область разгрузки рудоносных метасоматических и гидротермальных возгонов. В области рудоотложения грейзенизация эндоскарновых плагиогранодиоритов способствовала формированию шеелит-кварцевого оруденения. В окварцованных, амфиболитизированных, эпидотизированных, серицитизированных экзоскарнах происходила последовательная со снижением температуры концентрация шеелит-сульфидных рудных парагенезисов.

Полученные материалы по Шивкинскому [9] и Восточному узлам показали также, что процессы скарнирования затрагивали не только гранодиориты, но и кислые и ультракислые гранитоиды, а образующиеся в них плагиограниты также имеют опосредованную связь с рудообразованием. Скарнированием захватывались апикальные выступы магматических тел и их надкупольное пространство. Поэтому поиски крупных рудных скоплений в эродированных гранитных массивах малоэффективны. Но над закрытыми периферическими очагами они могут быть весьма резуль-

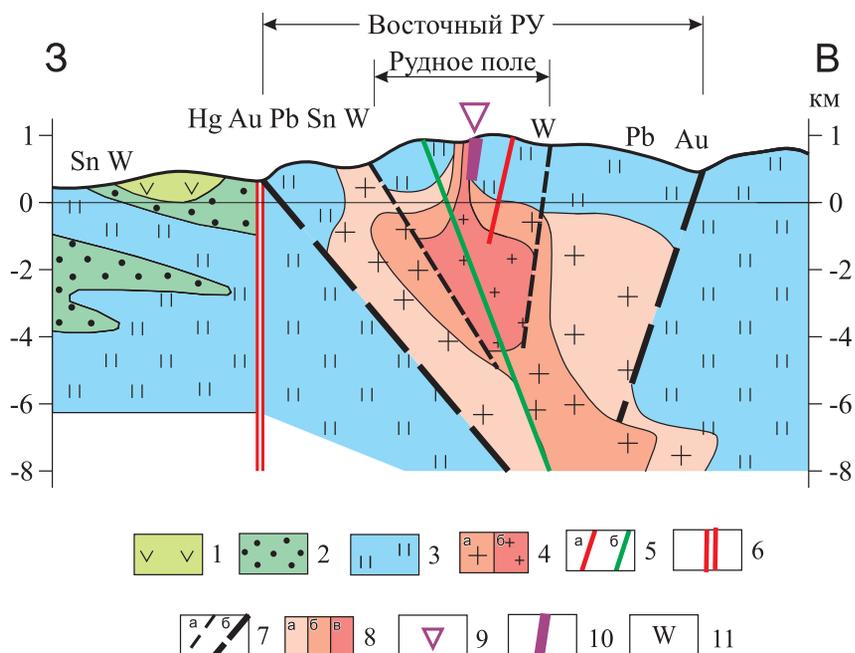


Рис. 3. Геолого-геофизические модели Восточного рудного узла и рудного поля месторождения Восток 2: 1 — вулканические андезит-дацит-риолитовые породы; 2 — терригенные отложения; 3 — олистостромовые вулканогенно-осадочные образования; 4 — гранитоидные породы: а — средне-кислого, б — ультракислого составов; 5 — дайки: а — гранит-порфиров и аплитов, б — лампрофиров; 6 — тектонический шов; 7 — границы рудно-магматических структур: а — рудного поля, б — рудного узла; 8 — зоны гранитоидных пород с разной эффективной плотностью, г/см³: а — более 2.62, б — 2.62–2.57, в — менее 2.57; 9 — местоположение месторождения Восток 2; 10 — главная рудная залежь; 11 — места сосредоточения рудопроявлений (состав отмечен индексом)

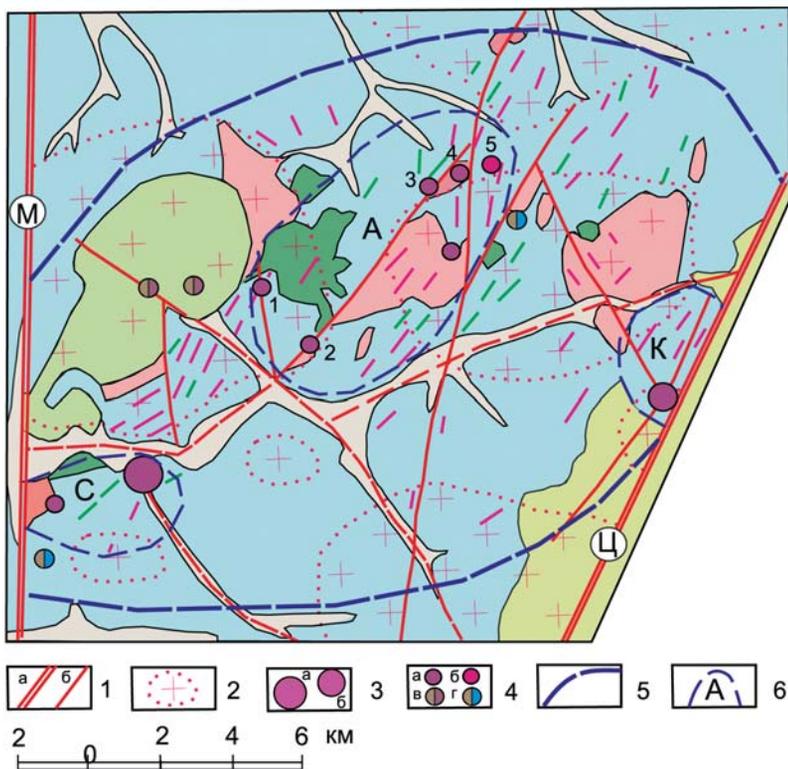


Рис. 4. Карта геодинамических комплексов и полезных ископаемых Малиновского рудного узла: 1 — тектонические нарушения: а — Меридиональный (М) и Центрально-Сихотэ-Алинский (Ц) тектонические швы, б — коровые разломы; 2 — контуры интрузий гранитоидов на глубинах 1,5–2,5 км по геофизическим данным; 3 — месторождения вольфрама: а — Скрытое, б — Кордонное; 4 — рудопроявления: а — вольфрама, б — вольфрам-молибденовые, в — олово-вольфрамовые, г — олово-полиметалльные; 5 — граница Малиновского рудного узла; 6 — границы рудных полей: А — Александровского, К — Кордонного, Б — Скрытого. Другие условные см. рис. 1

тативными (Лермонтовское месторождение), в чем еще раз убеждает строение и развитие Малиновского узла, в котором локализованы Скрытое и Кордонное месторождения вольфрама и его рудопроявления.

Месторождение Скрытое находится в Центральной Сихотэ-Алинской металлогенической зоне в 190 км к юго-западу от месторождения Восток 2. Составителями геологической карты 1:1 000 000 третьего поколения оно выделяется в рамках Малиновского золото-вольфраморудного района в составе Скрытого рудного узла [5]. В показанных границах площади их намного превышают размеры такого ранга таксонов. Нами на фрагменте геологической карты листа L-53-XXVII (2011) месторождение показано в составе Малиновского рудного узла и Скрытого рудного поля, которые выделены в границах купольных морфоструктур, размером соответственно 500 и 15 км² (рис. 4). Малиновская морфоструктура разделена руслом одноименной реки на северную и южную части. Большая северная часть отличается горным крутосклоновым ландшафтом. Вершинные поверхности в ней превышают 900 м. В центральном водораздельном участке читается локальный купол, занимающий площадь около 60 км². В его границах выделено рудное поле Александра. Южная часть узла относительно выположена. На

востоке ее в Кордонном локальном куполе (рудное поле одноименного месторождения) вершинные поверхности достигают 700-метровые отметки, а в Скрытом (западном) не превышают 600 отметки.

Малиновский узел находится в Центральной металлогенической зоне Саманской подзоны, специализированной на вольфрам. Он сложен тем же олистостромовым комплексом пород, что и Восточный узел. Отличие в его строении, может быть, составляют крупные пачки вулканогенно-осадочных образований с большим присутствием основных вулканогенных пород. Они включают олистолиты кремнистых пород, силлы и блоки основных и ультраосновных пород, перемежаемые на отдельных площадях с горизонтами и толщами дистальных турбидитов. Крупные массивы гранитоидов, широко развитые в северной части узла, принадлежат татибинскому гранодиорит-гранитному комплексу. В нем выделяются две фазы: первая — мондиорит-гранодиоритовая и вторая — гранит-лейкогранитовая. Они сопровождаются дайками пестрого состава от диоритовых и диабазов порфиристов до лейкократовых порфиринов и аплитов. В краевых частях узла все образования прорываются и перекрываются вулканоплутоническим комплексом пород верхнего мела — раннего палеогена, сопоставляемого с образованиями Восточно-Сихотэ-Алинского вулканоплутонического комплекса.

Кремнисто-вулканогенно-терригенные породы олистостром региональным метаморфизмом превращены в биотитовые роговики, динамометаморфизмом рассланцованы, а контактно-реакционным метасоматозом скарнированы. Наложенными инфльтрационными пневмо-флюидами, несущими оруденение, граниты грейзенизированы, а скарны и скарноиды прокварцованы, амфиболлизированы, хлоритизированы, эпидотизированы, серицитизированы.

Водотоки северной части территории узла повсеместно заражены шеелитом, реже встречаются вольфрамит и касситерит. Наибольшие концентрации шеелита в шлихах отмечаются в истоках ручьев, дренирующих крупный массив гранитов, выходящий в водораздельном центре рудного поля Александровское. Вокруг него, контролируясь разрывными нарушениями, локализована серия рудопроявлений вольфрама (1–5, рис. 4). Во внутренней части массива установлены его шлихогеохимические аномалии. В ближнем экзоконтакте встречено вольфрам-молибденовое рудопроявление (6), в дальних — совместно с вольфрамом минеральные проявления олова и полиметаллов. При поисковых работах на рудопроявлении Легкое (2) краевая часть небольшого тела гранитов преобразова-

на в тоналиты (плагиограниты) (А.Н. Найденко, 2007). В его экзоконтактовых скарнах и скарноидах вскрыто два пересечения с промышленными параметрами. Эрозионный срез по геохимическим данным определен как среднерудный. Другие рудопроявления выявлены у границ гранитного массива, где эрозионный срез определен как верхнерудный. На их участках в экзоконтакте вскрыты серии скарноидных залежей, а в эндоконтактах — грейзенизированные кварцевые штокверки. В них отмечено рассеянное оруденение с низкими до средних содержаниями вольфрама. Пробуренные скважины рудных скоплений металла не вскрыли. Исключение касается только молибдена на рудопроявлении ключа Александра (6). На поверхности он наблюдался в кварцевых прожилках с убогими содержаниями металла. Но в скважине, пройденной в приконтактной зоне интрузии, в интервалах глубин 84–86 и 109–116 м были вскрыты рудные интервалы с высокими содержаниями молибдена равными соответственно 0,1 % и 0,35 %.

Геологическое строение южной части Малиновского узла отличается от северной распространением олистостромовых толщ с редким проникновением в них штоков и даек татибинского комплекса. В рудном поле месторождения Скрытое отложения этих толщ представлены пачками переслаивающихся глинистых сланцев, известняков, карбонато-кремнистых пород, туфов и туфитов основного состава, пронизанных силлами габброидов. Последние слагают крупное тело на северной границе рудного поля и по сведениям геофизиков залегают под его площадью. Олистостромовые толщи на периферии поля прорываются штоком гранит-порфиров, а по всей площади дайками кислых порфиров и диоритовых порфиринов (спессартитов).

Метаморфическими процессами породы олистостром превращены в биотититы, кремнисто-карбонатные пласты — в скарны, базальты и габброиды — в скарноиды. Все они смяты в пологие складки. Нарушены разломами и зонами трещиноватости разных направлений и падений, в целом образуя перевернутую конусообразную структуру рудно-магматической системы месторождения.

Непосредственно под месторождением структура упирается в гребневидный выступ гранитного штока, вскрытый скважинами на глубинах 250–500 м. Сложен он лейкогранитами

светло-серого цвета со среднезернистой структурой с вкрапленниками кислого плагиоклаза. Состоит порода из кварца (25–30 %), плагиоклаза (50–65 %), мусковита (3–15 %), биотита (1–3 %). На некоторых интервалах скважин в лейкогранитах количество кварца снижается до 15–20 %. Состав пород отвечает плагиограниту. Завершается магматический процесс внедрением даек аплитов и спессартитов.

И.В. Гвоздев, изучавший метасоматические породы месторождения, установил первостепенную роль в метасоматических преобразованиях натриево-кальциевых полевых шпатов [2]. Плагиоклаз присутствует во всех метасоматических измененных породах и гидротермалитах. В кварц-полевошпат-биотитовых и амфибол-биотитовых роговиках при преобладающем биотите (60–80 %), содержания кварца и плагиоклаза, выполняющих пространство между его чешуйками, достигает 30–40 %, снижаясь до 15 % в присутствии амфибола. В пироксен- и амфибол-плагиоклазовых околоскарновых метасоматитах плагиоклаз уже в два раза превышает эти проценты. В наиболее распространенных гранатовых и пироксен-гранатовых скарнах количество его вместе с кальцитом достигает 25 %. Сопровождающие метасоматиты жилы и прожилки меняют свой состав от существенно кварцевого до плагиоклазового (до 90 %). Исследования И.В. Гвоздева показали, что ранние безрудные скарны образовались при температурах 700–450°, тем самым подтвердив, что формирование плагиогранитов — это реальный результат скарнирования апикальной части лейкогранитов штока в завершающую стадию магматического процесса.

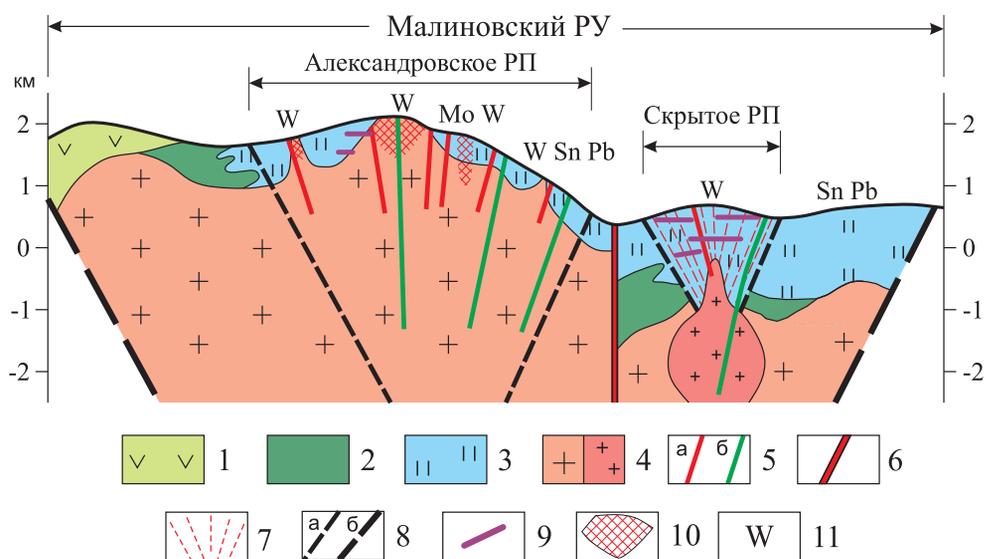


Рис. 5. Геолого-геофизическая модель Малиновского рудного узла с рудными полями Александровское и Скрытое: 1 — вулканические андезит-дацит-риолитовые породы; 2 — терригенные отложения; 3 — олистостромовые вулканогенно-осадочные образования; 4 — гранитоидные породы: а — средне-кислого, б — ультракислого составов; 5 — дайки: а — гранит-порфиров и аплитов, б — лампрофилов; 6 — тектонический шов; 7 — зоны трещиноватости; 8 — границы рудно-магматических структур: а — рудного поля, б — рудного узла; 9 — пластовые рудные залежи; 10 — штокверковые зоны; 11 — места сосредоточения рудопроявлений (состав отмечен индексом)

В пределах конусообразной структуры месторождения все пространство пронизано жилами и прожилками. Наиболее густая штокверкообразная сеть прожилков отмечается на пересечении ими скарновых и скарноидных пластов. Прожилкование сопровождается интенсивной амфиболизацией, эпидотизацией. В гидротермалитах, несущих основную рудную нагрузку, плагиоклаз замещается кальцитом. Особенно

это заметно в жилах и прожилках, меняющих свой кварц-плагиоклазовый состав на кварц-карбонатный. При разведке месторождения выделены два типа руд (А.В. Анахов, 2011): шеелит-кварц-карбонатный (в скарнах) и шеелит-кварц-амфиболовый (в скарноидах). Мощности рудных тел в штокверко-метасоматических залежах переменчивы, варьируют от десятков сантиметров до 21 м. Длина их в проекции

Таблица 1

Прогнозно-поисковые критерии и признаки вольфраморудных узлов месторождений полиметалльно-вольфрамовой формации* Сихотэ-Алинской провинции

Наименование критериев и признаков	Характеристики критериев и признаков
1. Ландшафтные	Горный рельеф с высокими вершинными поверхностями, переходящий в слаженный с более низкими вершинными поверхностями
2. Морфоструктурные	Купольные морфоструктуры размером $n \times 100 \text{ км}^2$ с локальными центрами радиально-концентрического строения
3. Вещественные геолого-геодинамические	А — Вулканогенно-осадочные Аллохтонные олистостромовые комплексы, сложенные преимущественно островодужными и океаническими образованиями. Общая мощность вулканогенно-осадочных олистостромовых толщ более 10 км. Содержания вольфрама в породах в 2–3 раза превышают кларковые Б — Интрузивные Коллизионные массивы биотитовых гранитоидов монцодиорит-гранодиорит-гранитной формации с апофизами штоков, даек кислых и основных пород. Содержания вольфрама в породах повышенной основности в два и более раз превышают кларковые
4. Метасоматические	Вулканогенно-осадочные отложения регионально биотитизированы и пропилитизированы. Гранитоиды окружены зонами контактового ороговикования и скарнирования. Внутри массивов они локально пегматизированы. В провесах кровли и приконтактных зонах породы окварцованы, грейзенизированы, скарнированы, амфиболизированы, хлоритизированы, сульфидизированы, отличаются повышенными содержаниями вольфрама
5. Тектонические	Образования олистостром интенсивно тектонизированы, скучены, рассланцованы. Контролируются разломами глубокого заложения, приурочены к зонам сгущения коровых разломов разных направлений
6. Геофизические	Геофизические поля характеризуются нормальными (близкими к нулевым) значениями магнитного и гравитационного полей. Над гранитоидами отмечаются слабо повышенные значения магнитного поля и отрицательные остаточные аномалии гравитационного поля. При моделировании распределения плотностей по программе КОСКАД 3D до глубины 10 км выделяются структуры коровых гранитоидных очагов с разными эффективными плотностями, с наибольшим разуплотнением в верхних периферических очагах
7. Минералого-геохимические	Шлиховые ореолы шеелита покрывают всю площадь. На рудопроявлениях вольфрамовая минерализация сопровождается сульфидами железа, мышьяка, меди. По периферии узлов появляются проявления молибдена, олова и полиметаллов, золота. Вторичные ореолы рассеяния и донное опробование выявляют среднеинтенсивные геохимические аномалии с локальными аномалиями вольфрама в полях месторождений и рудопроявлений. Характерно повсеместное нахождение в ореолах марганца, олова и молибдена. Вольфрамовая специализация олистостромовых комплексов и вольфрамоносность гранитоидов устанавливается по первичным ореолам коренных пород

* Название полиметалльно-вольфрамовой формации принято по классификациям месторождений вольфрама Ф.Р. Апельцина (1980) и В.Т. Покалова (1992). Фактически название формации «полиметалльный» не отражает ее преобладающее «железо-халькофильное» содержание. Поэтому в названии таблицы 2 она названа в порядке предложения «железо-халькофильно-вольфрамовой»

на горизонтальную площадь достигают 300–500 м. Среднее содержание триоксида вольфрама по месторождению составляет 0,36 %.

Геологическое строение, структура и оруденение месторождения Кордонное, расположенное на востоке южного крыла Малиновского рудного узла, сходно со Скрытым. Особенность их сходства — это отсутствие в вольфраморудных телах высоких концентраций сопутствующих металлов. Практически мономинеральный рудосброс на месторождениях находится в контрасте с комплексными рудопроявлениями рудных полей северной части узла. Слабая дифференциация оруденения в последних свидетельствует об условиях быстрого выпадения из растворов рудной нагрузки, присущей приповерхностным рудно-магматическим системам мелких месторождений.

Все изложенное по Малиновскому рудному узлу отображено в его геолого-геофизической модели (рис. 5). Она позволяет представить своеобразие формирования месторождения Скрытое. В закрытых условиях его периферического очага в завершающую стадию магматического (или начале постмагматического) процесса лейкограниты апикальной части внедрившегося штока и вмещающие вулканогенно-осадочные породы под воздействием гидротерм, исходящих от остывающих магм, подвергаются реак-

ционно-метасоматическому скарнированию. Они превращаются в плагиограниты, а приконтактные карбонатсодержащие вмещающие породы в скарны и скарноиды. По завершению магматических процессов последующие подвижки оживили трещинную

структуру месторождения. По ней поднимаются дайки второго этапа, способствующие проникновению из верхней остаточной камеры кремекислотных газофлюидов, насыщенных рудными элементами. Они, достигнув скарнированных пластов, осуществляли

Таблица 2

Прогнозно-поисковые критерии и признаки вольфраморудных полей железо-халькофильно-вольфрамовой формации Сихотэ-Алинской провинции

Наименование критериев и признаков	Характеристики критериев и признаков	
	околоинтрузивных полей	надинтрузивных полей
1. Ландшафтные	Изрезанный горный рельеф с высокими вершинными поверхностями	Сглаженный горный рельеф с пониженными вершинными поверхностями
2. Морфоструктурные	Купольные морфоструктуры размером $n \times 10 \text{ км}^2$	
	Четкое радиально-концентрическое строение	Нечеткое радиально-концентрическое строение
3. Вещественные геолого-геодинамические	А — Вулканогенно-осадочные Аллохтонные олистостромовые толщи с вольфрамовой металлогенической специализацией вмещают и перекрывают рудные объекты Б — Интрузивные над скрытыми периферическими очагами	
	Штоки вольфрамоносных биотитовых гранодиоритов, мусковит-биотитовых гранит-порфиров, лейкогранитов, дайки аплитов и лампрофиров	На поверхности дайки кислого и основного состава. На глубине — апикальные выступы вольфрамоносных лейкогранитов
4. Магматогенно-метасоматические	Скарноиды поздней магматической стадии	
	В эндоконтактах гранитоидных тел появление плагиогранодиоритов и плагиогранитов, в экзоконтактах — скарнов, скарноидов, биотитовых роговиков	Пластовые тела скарнов и скарноидов, развитые над нескрытым штоком лейкогранитов — плагиогранитов
5. Метасоматические	Общая прокварцованность пород	
	Развитие в эндоконтакте гранитоидов — грейзенизации, экзоконтакте — апоскарновой амфиболизации, эпидотизации, хлоритизации, серицитизации	В надкровельной части скарновые и скарноидные тела, сопровождающиеся кварц-плагиоклаз-карбонатным прожилкованием, околожильной амфиболизацией, эпидотизацией и другими апоскарновыми метасоматитами
6. Тектонические	Поля пересечены разломами и зонами трещиноватости разных направлений. Наличие конусообразной жильно-прожилковой трещинной структуры, обращенной вершиной вниз, упирающейся в гранитный шток (штоки) или вытягивающейся вдоль осложняющего ее приконтактного нарушения	
	Месторождения формируются в краевых провесах кровли штоков и в зонах крутопадающих разломов	Месторождения локализируются в зонах трещиноватости, веерообразно расходящихся от выступов, не выходящих на поверхность штоков
7. Геофизические	В моделях гравитационного поля, интерпретированных в программе КОСКАД 3D, под рудными объектами фиксируются периферические очаги с наиболее разуплотненными образованиями	
8. Минералого-геохимические	Концентрированные локальные шлиховые ореолы рассеяния шеелита в контуре рудного поля. Среднеинтенсивные локальные геохимические аномалии вольфрама, с меньшей интенсивностью его элементов-спутников молибдена, олова в рыхлых и донных отложениях	
9. Рудогенные	Рудные залежи локализируются в приконтактных зонах штоков и разрывных нарушениях. Руды в грейзенизированных эндоконтактах — вкрапленные богатые кварц-шеелитовые, в скарнированных экзоконтактах — массивные и прожилково-вкрапленные сульфидно-шеелитовые	Рудные залежи локализируются в надинтрузивных зонах штоков в скарновых и скарноидных пластовых телах. Во-первых, руды шеелит-кварц-карбонатные продуктивные, во-вторых, шеелит-кварц-амфиболовые рядовые
	Главные рудные минералы: шеелит, пирротин, арсенопирит; второстепенные: пирит, халькопирит, сфалерит; редкие: вольфрамит, касситерит, молибденит, галенит	

локальное прокварцевание, амфиболизацию, эпидотизацию и другие апоскарновые метасоматические преобразования, благоприятствующие выпадению из остывающих растворов шеелита и образованию рудных залежей. Незначительное присутствие в них других рудных минералов свидетельствует о высокой дифференциации рудных элементов в инфильтрационных гидротермах.

Анализ материалов по условиям формирования месторождений полиметалльно-вольфрамовой формации в Шивкинском, Восточном и Малиновском вольфраморудных узлах позволяет увидеть схожие условия их образования и наметить критерии и признаки перспективных рудных узлов и полей для локализации промышленных месторождений полиметалльно-вольфрамовой формации апоскарнового типа, сведенные в нижеследующие таблицы (табл. 1, 2).

Месторождения железо-халькофильно-вольфрамовой формации локализуются в условиях околоинтрузивных и надинтрузивных зон рудных полей, прогнозно-поисковые критерии и признаки которых существенно различаются, что отображено в следующей табл. 2.

Составление моделей вольфраморудных узлов и полей было направлено на формирование комплекса основных прогнозно-поисковых критериев и признаков, который может быть использован в рудных районах для выявления перспективных узлов и полей с не выходящими на поверхность месторождениями. Исследования, основанные на геодинамическом развитии земной коры, приводят к эксклюзивным представлениям о формировании месторождений. Уточненное рассмотрение продуктов метаморфических и метасоматических процессов позволяют увидеть упущенные детали скарнообразования в гранитоидах, наметить последовательность металлонакопления в остаточных магматических камерах и апоскарнового рудоотложения. Использование современных технологий в обработке геофизических данных в форматах 3D намечают инновационные подходы к прогнозу скрытых месторождений, расположенных над периферическими магматическими очагами. Анализ результатов геохимического опробования по вторичным ореолам и потокам рассеяния, несмотря на множество усовершенствований в их обработке, не показывает положительных результатов в обнаружении таких объектов. Это не касается геохимии коренных пород, которые с самого начала применения использовались для определения специализации осадочных и магматических пород. В последнее время разработаны технологии обработки геохимических данных по первичным ореолам рассеяния, в частности, компьютерная геохимическая томография «Геотом» [1]. Она позволяет выделять объемные геохимические аномалии, определять положение скрытых центров рудолокализации, устанавливая эрозионный срез и формационную принадлежность, а главное, получать

количественные оценки прогнозных ресурсов в объемных геохимических полях.

В нашей стране выявление и пополнение поискового задела перспективных площадей в доперестроечный период осуществлялось в основном при проведении геологосъемочных и сопутствующих им работ масштаба 1:500 000. В настоящее время крупномасштабные исследования фактически исключены из состава работ Федерального агентства по недропользованию «Роснедра» МПР и Экологии РФ. Чтобы восстановить поисковый задел, а это возможно сейчас только за счет скрытых месторождений, необходимо в полном объеме возобновить научные исследования в составе отраслевых институтов, на новом уровне знаний восстановить системное проведение крупномасштабных геологических, геофизических и других сопровождающих работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурого, А.И. Теория и методы геохимической томографии в задачах поисковой геохимии / А.И. Бурого, В.А. Бурого // Прикладная геохимия. — Вып. 3. — Прогноз и поиски. — М.: ИМГРЭ, 2002. — С. 49–85.
2. Гвоздев, В.И. Метасоматические породы и генезис шеелитового месторождения Скрытое (Приморье) / В.И. Гвоздев, А.А. Орехов // Геология рудных месторождений. — 2004. — Т. 46. — № 6. — С. 540–551.
3. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / Под ред. А.И. Ханчука. — Владивосток: Дальнаука, 2006. — Кн. 1. — С. 1–572. — Кн. 2. — С. 573–981.
4. Говоров, Н.И. Геохимия рудных районов Приморья / Н.И. Говоров. — М.: Наука, 1977.
5. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 000 000 (третье поколение). Лист L–(52), 53; (K–52), 53 — оз. Ханка. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2011.
6. Иванов, Ю.Г. Геохимические и минералогические критерии поисков вольфрамового оруденения / Ю.Г. Иванов. — М.: Недра, 1974. — 212 с.
7. Левашов, Г.Б. Магматогенная геохимия олова и вольфрама / Г.Б. Левашов. — М.: Наука, 1978. — 144 с.
8. Митрофанов, Н.П. Модели рудно-магматических систем вольфраморудных узлов и полей / Н.П. Митрофанов, Т.А. Бурова, Д.Е. Выдрич, А.И. Макаров // Разведка и охрана недр. — 2019. — № 6. — С. 3–10.
9. Петров, А.В. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных КОСКАД 3D/ А.В. Петров, С.В. Зиновкин, Д.Ю. Осипенко и др. // Геоинформатика. — 2011. — № 4. — С. 7–13.
10. Руб, М.Г. Оловоносные и вольфрамоносные гранитоиды некоторых регионов СССР / М.Г. Руб, В.А. Павлов, Н.Г. Гладков, О.И. Яшухин. — М.: Наука. 1982. — 261 с.
11. Степанов, Г.Н. Минералогия, петрография и генезис скарново-шеелит-сульфидных месторождений Дальнего Востока / Г.Н. Степанов. — М.: Недра. 1977. — С. 178.
12. Соловьев, С.Г. Металлогения фанерозойских скарновых месторождений вольфрама / С.Г. Соловьев. — М.: Научный мир, 2008. — 368 с.
13. Nokleberg, W.I. Mineral deposit and metallogenic belt maps of the Russian Far East, Alaska and the Canadian Cordillera: U.S. Geological Survey Open-File Report 97–161. 2 sheets. Scale 1:5 000 000 / W.I. Nokleberg, T.K. Bundtzen, K.N. Dawson and other.

© Митрофанов Н.П., Бурова Т.А., Макаров А.И., 2020

Митрофанов Николай Павлович // vims-mitrofanov@mail.ru
Бурова Татьяна Александровна // burova@vims-geo.ru
Макаров Александр Иванович // vims@vims-geo.ru