

На правах рукописи

**ПЕРЕВОЗНИКОВА
Елена Валериевна**

**МАРГАНЦЕВОСИЛИКАТНЫЕ ПОРОДЫ
РУДНЫХ РАЙОНОВ ЮЖНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ:
МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС**

(25. 00. 11 – геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых; минерагения)

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Владивосток - 2010

Работа выполнена в Дальневосточном геологическом институте
Дальневосточного отделения Российской Академии наук

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Казаченко Валентин Тимофеевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Авченко Олег Викторович

кандидат геолого-минералогических наук
Астахова Надежда Валерьевна

Ведущая организация: Санкт-Петербургский
государственный университет

Защита состоится «23» апреля 2010 г. в 10 часов на заседании Диссертационного совета Д 005.006.01 в конференц-зале Дальневосточного геологического института ДВО РАН по адресу: 690022, Владивосток, пр-т 100-летия Вл-ка, 159, ДВГИ ДВО РАН. Факс (4232) 317-847; e-mail: office@fegi.ru

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной библиотеке ДВО РАН.

Автореферат разослан «_____» _____ 2010 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
Кандидат геолого-минералогических наук



Б.И. Семеняк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Результаты всестороннего изучения марганцевосиликатных пород позволяют уточнить и расширить существующие представления о процессах и геологических обстановках накопления рудных концентраций Mn. Они дают возможность проследить особенности эволюции марганцеворудных накоплений от металлоносных осадков через марганцевые руды карбонатного типа до марганцевосиликатных пород, то есть нерудных (из-за силикатной формы Mn) образований. Результаты изучения марганцевосиликатных пород могут оказать большое влияние на решение вопросов региональной геологии, в том числе и на формирование представлений о геологической истории таких крупных структур как Сихотэ-Алинь. Научный и практический интерес к марганцевосиликатным породам определяется, кроме того, присутствием в них золото-палладий-платинового оруденения и пространственной ассоциацией с металлоносными породами других литохимических и генетических типов, обогащенными благородными металлами, а также возможной ролью в металлогении Сихотэ-Алиня, как одного из источников рудных компонентов при формировании скарновых и жильных месторождений.

Цель и задачи работы. Целью исследований являлось выяснение генетических особенностей марганцевосиликатных пород на примере Ольгинского, Дальнегорского и Малиновского рудных районов Сихотэ-Алиня.

К числу наиболее важных задач относились: 1) определение степени распространения и уточнение геологических условий локализации; 2) изучение породообразующих минералов и минеральных ассоциаций; 3) изучение рудных минералов; 4) выделение типоморфных минеральных ассоциаций; 5) оценка температурных и окислительно-восстановительных условий кристаллизации парагенезисов. Геохимия и минералогия золота, серебра, платины и палладия в марганцевосиликатных породах являются предметом отдельных исследований и в данной работе не рассматриваются.

Объектами детальных исследований служили выходы марганцевосиликатных пород в Ольгинском, Малиновском и Дальнегорском рудных районах Сихотэ-Алиня.

Фактический материал и методы исследований. Основу диссертации составляют результаты трехлетнего (2006-2008 гг.) изучения марганцевосиликатных пород триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня. Ведущими методами полевых исследований являлись методы геологического картирования и опробования, а также полевые маршруты. Изучение каменного материала в лабораторных условиях производилось с помощью поляризационных микроскопов для проходящего и отраженного света, а также с широким использованием рентгеноспектрального микроанализа. Применялись ИСП-МС, рентгено-флюоресцентный и атомно-абсорбционный методы. В процессе выполнения работы было изготовлено и изучено с помощью поляризационных микроскопов около 150 шлифов и 90 аншлифов металлоносных пород Ольгинского, Малиновского, Дальнегорского и Кавалеровского рудных районов Сихотэ-Алиня. Работа базируется в значительной степени на результатах обработки данных рентгеноспектрального микроанализа. С помощью рентгеноспектральных микроанализаторов получено около 700 анализов минералов и элементных спектров, а также порядка 200 фотографий. Более 500 анализов минералов (в аншлифах) были выполнены в Институте вулканологии ДВО РАН на приборе «Самбах» Чубаровым В.М. Остальные анализы были получены в Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН автором и Карабцовым А.А. на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA8100 (с тремя волновыми спектрометрами и энергодисперси-

онным спектрометром INCAx-sight). Атомно-абсорбционным и ИСП-МС методами определены содержания благородных металлов в 45 пробах металлоносных пород.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 статей (из них 7 – в реферируемых журналах) и 2 тезисов.

Научная новизна работы. Впервые детально изучены минералогия и минеральные ассоциации марганцевосиликатных пород Малиновского рудного района, получены новые сведения по минералогии, минеральным ассоциациям и особенностям образования марганцевосиликатных пород Ольгинского и Дальнегорского рудных районов. В частности, установлено широкое распространение редкой ванадийсодержащей разновидности спессартина, присутствие в марганцевосиликатных породах Ольгинского района редкого полевого шпата – цельзиана, а в марганцевосиликатных породах Дальнегорского района – редкого сульфида марганца (алабандина). Изучены рудные минералы в марганцевосиликатных породах. В результате этого выявлены торий-урановая, редкоземельная и кобальт-никелевая минерализация, в том числе большая группа сульфидов, арсенидов, сульфоарсенидов, сульфантимонидов и сульфовисмутидов никеля и кобальта, многие из которых ранее в качестве природных образований не отмечались. В марганцевосиликатных породах обнаружено 15 самородных элементов (в том числе вольфрам и молибден), фосфиды, силициды, хромиды, а также многие другие интерметаллические соединения. Многие из этих минералов в качестве природных образований выявлены впервые.

Апробация работы. Основные выводы и положения диссертационной работы опубликованы в виде 9 статей: из них 6 статей – в журнале «Доклады Академии наук» и 1 статья в журнале «Тихоокеанская геология». Материалы диссертации частично были представлены в 2007 году на Всероссийской конференции «Чтения памяти академика К.В. Симакова» в г. Магадане, а также излагались на ежегодных научных конференциях ДВГИ ДВО РАН (в 2006 и в 2008 гг.). Наиболее важные результаты исследований научного и прикладного характера были переданы в виде 7 информационных записок в Приморское территориальное агентство по недропользованию, а также в производственные объединения «Бор» и «Дальполиметалл» (г. Дальнегорск).

Практическая ценность. Региональное распространение марганцевосиликатных пород, минералогические особенности, геологические условия залегания, ассоциацию с близкими по возрасту металлоносными отложениями других литохимических типов и углеродистыми породами можно использовать для эффективного выполнения поисковых и поисково-разведочных работ в пределах разноранговых металлогенических структур.

Объём работы. Работа состоит из введения, шести глав, основных выводов и двух приложений. Содержит 79 страниц текста, 17 таблиц, 26 рисунков и список литературы из 166 наименований.

Благодарности. Автор признателен своему научному руководителю д.г.-м.н. В.Т. Казаченко, а также академику А.И. Ханчуку, профессору С.А. Щеке, д.г.-м.н. Л.П. Плюсниной, д.г.-м.н. О.В. Авченко, сотрудникам лаборатории океанического литогенеза к.г.-м.н. Ю.Г. Волохину и к.г.-м.н. Е.В. Михайлику, заведующему лабораторией металлогении рудных районов д.г.-м.н. В.Г. Гоневчуку и ее сотрудникам к.г.-м.н. Б.И. Семеняку и д.г.-м.н. В.И. Гвоздеву, сотруднику лаборатории металлогении благородных металлов к.г.-м.н. И.И. Фатьянову, а также сотруднику лаборатории петрологии вулканических формаций к.г.-м.н. С.О. Максимова за конструктивное обсуждение работы, за ценные советы и замечания. Автор выражает также благодарность за

ведущему лабораторией рентгеновских методов исследования к.г.-м.н. А.А. Карабцову и сотруднику Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН В.М. Чубарову за обеспечение и выполнение аналитических работ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Марганцевосиликатные породы рудных районов Сихотэ-Алиня сложены, главным образом, силикатами и алюмосиликатами двухвалентного Mn. Такие породы, распространенные во многих регионах мира, по содержанию Mn не уступают высококачественным марганцевым рудам, но, тем не менее, не представляют промышленного интереса из-за силикатной формы этого элемента. Марганцевосиликатные породы и часто сопутствующие им оксидно-карбонатно-силикатные и оксидно-силикатные руды, по литературным данным, согласно залегают в силицитах и образовались в результате контактового или регионального метаморфизма карбонатных или оксидно-карбонатных руд различного возраста. Примерами являются карбонатно-марганцевосиликатные породы в верхнеюрских радиоляритах Альп (Peters et al., 1973; Peters et al., 1978; Trommsdorf et al., 1970; и др.), а также девонские оксидно-карбонатно-силикатные, оксидно-силикатные руды и марганцевые породы Урала (Брусницын, Жуков, 2005; Старикова и др. 2004; и др.), пластовые марганцевые месторождения Японии (Ватанабэ и др., 1973; Sato, 1980) триасового возраста. В Сихотэ-Алине марганцевосиликатные породы залегают в силицитах триасовой кремневой формации.

Триасовая кремневая формация Сихотэ-Алиня сложена, главным образом, кремнистыми породами, различающимися по окраске, количеству глинистого и органического материала и другим признакам, а также глинистыми кремнями, кремневыми аргиллитами, аргиллитами и алевроаргиллитами (Волохин и др., 2003). В некоторых районах в разрезе присутствуют известняки, доломитистые известняки, мергели, глинистые и кремнистые известняки, а также микститы. Особенностью триасовых отложений Сихотэ-Алиня является наличие углеродистых разностей кремнистых и кремнисто-глинистых пород, а также горизонтов яшм, приуроченных к определенным стратиграфическим горизонтам. Горизонты яшм, углеродистых и карбонатных пород, сформировавшиеся в узкие интервалы времени, являются маркирующими отложениями (Волохин и др., 2003). Нижняя часть триасовой кремневой формации сложена обогащенной углеродом и глинистым материалом «глинисто-кремнистой» толщей (Казаченко, Сапин, 1990). Эта толща состоит из переслаивающихся кремнистых, глинисто-кремнистых и, в меньшей мере, кремнисто-глинистых и глинистых пород. Она обогащена углеродистыми разностями пород, образующими многочисленные прослои различной мощности. Интервал максимального развития прослоев углеродистых пород выделен в качестве «фтанитовой» пачки (Волохин и др., 2003). Возраст «глинисто-кремнистой» толщи по данным радиоляриевого метода отвечает среднему-позднему триасу (Казаченко, Сапин, 1990), а с учетом более дробного возрастного деления триасовых отложений Сихотэ-Алиня по конодонтам (Волохин и др., 2003) – верхам нижнего триаса (оленок) – среднему триасу (средний анизий). «Глинисто-кремнистая» толща перекрыта «кремневой», сложенной светло-серыми плитчатыми кремнями. В основании последней присутствует горизонт сургучно-красных яшм мощностью более 3 м. Уровень появления яшм – верхний анизий-ладинский ярус (Волохин и др., 2003). Вышележащие плитчатые кремни относятся к карнийскому и норийскому ярусам. Выделенные выше толщи легко узнаются в южной части Сихотэ-Алиня по литологии и наличию маркирующих горизонтов

тов. Яшмы, оловянно-железные руды и марганцевосиликатные породы слагают единую пачку или самостоятельные фашиально замещающие друг друга линзообразные и пластовые тела в основании «кремневой» толщи. Таким образом, уровень распространения марганцевосиликатных пород в Сихотэ-Алине – верхнеанзийский – ладинский ярус.

Тела марганцевосиликатных пород рудных районов Сихотэ-Алиния имеют неоднородное строение. Оно обусловлено особенностями распределения породообразующих минералов, выражающимися в полосчатости и изменчивости минерального состава по простиранию и падению. В марганцевосиликатных породах присутствуют микроскопические включения разнообразных рудных минералов, а также ассоциации самородных элементов и интерметаллических соединений, приуроченные к порам и микропрожилкам с органическим веществом. Выходы марганцевосиликатных пород распространены в Ольгинском (Широкопаднинская и Мокрушинская площади), Дальнегорском (Садовая), Малиновском (Горная площадь) и, очевидно, в других рудных районах Сихотэ-Алиния (рис. 1). Площадь Ольгинского района сложена вулканогенными образованиями и гранитоидами позднемелового-палеогенового возраста, среди которых присутствуют блоки осадочных пород триасового, юрского и раннемелового возраста, а также карбон-пермских сланцев и рифогенных известняков. В ее пределах обнажаются обогащенная органическим веществом «глинисто-кремнистая» и «кремневая» толщи среднего и позднего триаса, а также юрская «пелит-алевролитовая» толща (Казаченко, Сапин, 1990). Кроме того, присутствует толща аркозовых песчаников предположительно раннемелового (?) возраста. В нижней части «кремневой» толщи местами залегает пачка мощностью 4-5 м, представленная горизонтом яшм средне-позднетриасового (по радиоляриям) возраста (Казаченко, Сапин, 1990), содержащим вблизи нижнего контакта пласт оловянно-железных руд и перекрывающий его пласт марганцевосиликатных пород общей мощностью десятки см – первые м. Чаше вместо пачки в основании «кремневой» толщи наблюдаются самостоятельные пластовые тела марганцевосиликатных пород или яшм различной мощности, очевидно, фашиально замещающие друг друга. В наиболее удаленных от гранитоидных массивов участках Широкопаднинской площади в «кремневой» толще присутствуют пластовые выходы кремнистых пород, насыщенных криптокристаллическим родохрозитом и сильно загрязненных непрозрачным пылевидным веществом. Тела кремнисто-родохрозитовых пород иногда частично замещены марганцевыми силикатами без изменения морфологии или превращены в линейно-вытянутые штокверкоподобные зоны марганцевосиликатного состава в местах пересечения их системами трещин. Степень таких преобразований возрастает с приближением к кромке Широкопаднинского гранитоидного массива (Казаченко, Сапин, 1990). В Малиновском районе, в верховьях р. Горной, на площади, сложенной триасовыми и юрскими осадочными породами, марганцевосиликатные породы распространены в контактовых ореолах гранитоидных интрузий мелового возраста. Они, также как и яшмы, слагают самостоятельные согласные линзообразные или пластовые тела мощностью десятки сантиметров – первые метры в основании «кремневой» толщи. В Дальнегорском районе на площади Садовой-скарново-полиметаллического месторождения марганцевосиликатные породы присутствуют в олистоплаке триасовых кремней.

Таким образом, марганцевосиликатные породы занимают стратифицированное положение в разрезе триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиния и образовались в результате контактового метаморфизма кремнисто-родохрозитовых пород.

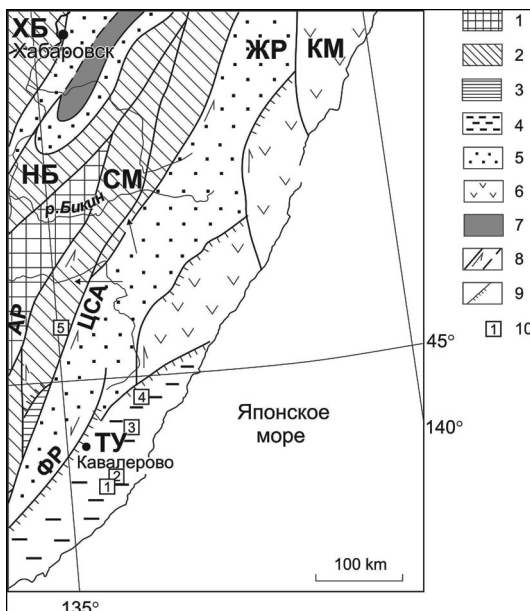


Рис. 1. Положение изученных площадей в Сихотэ-Алине (тектоническая основа по Ханчуку А.И., 2006).

1 – Ханкайский массив; 2 – юрские террейны (фрагменты аккреционных призм): СМ – Самаркинский, НБ – Наданьхада-Бикинский, ХБ – Хабаровский; 3 – фрагменты докембрийского-раннепалеозойского континента, включенные в структуры юрской аккреционной призмы и испытавшие вместе с ними цикл син- и постаккреционных преобразований; 4-7 – раннемеловые террейны-фрагменты: 4 – неокомовской аккреционной призмы (ТУ – Таухинский); 5 – приконтинентального спредингового турбидитового бассейна (ЖР – Журавлевско-Амурский); 6 – баррем-альбской островодужной системы (КМ – Кемский); 7 – альбской аккреционной призмы; 8 – левые сдвиги, в том числе: АР – Арсеньевский, ЦСА – Центральный Сихотэ-Алинский, ФР – Фурмановский; 9 – надвиги; 10 – изученные площади: 1 – Широкопаднинская, 2 – Мокрушинская, 3 – Высокогорская, 4 – Садовая, 5 – Горная.

змы; 8 – левые сдвиги, в том числе: АР – Арсеньевский, ЦСА – Центральный Сихотэ-Алинский, ФР – Фурмановский; 9 – надвиги; 10 – изученные площади: 1 – Широкопаднинская, 2 – Мокрушинская, 3 – Высокогорская, 4 – Садовая, 5 – Горная.

Из изложенных выше материалов следует несколько общих для этих пород всех изученных рудных районов характеристик, имеющих важное генетическое значение. К ним относятся пластовая или линзообразная форма тел, согласное залегание и исключительная приуроченность к кремням триасового возраста. Кроме того, марганцевосиликатные породы локализованы в контактовых ореолах крупных гранитоидных интрузий мелового возраста, с удалением от которых они сменяются породами кремнисто-родохрозитового состава. Все эти особенности позволяют сделать важный в генетическом отношении вывод, заключающийся в том, что исходным материалом являлись осадки триасового возраста и что важную роль в образовании марганцевосиликатных пород играли процессы диагенеза и контактового метаморфизма.

Первое защищаемое положение. В парагенезисах марганцевосиликатных пород Ольгинского, Машиновского и Дальнегорского рудных районов Сихотэ-Алиния преобладают силикаты двухвалентного марганца, наряду с которыми встречаются гиалофан, цельзиан, барий- или никельсодержащий флогопит, алабандин и другие редкие минералы и минеральные разновидности. Свойственные этим рудным районам различия в минеральном составе парагенезисов и составе одноименных минералов марганцевосиликатных пород обусловлены, главным образом, вариациями содержания кальция, железа и щелочей в исходных отложениях и температурными условиями контактового метаморфизма.

Ниже приведена сравнительная характеристика марганцевосиликатных пород разных рудных районов и площадей по минеральному составу, составам одноимен-

ных пороодообразующих минералов и по парагенезисам. Отмечены черты различия марганцевосиликатных пород разных площадей по указанным признакам, которые трактуются как проявление различий в химическом составе исходных осадков. Кроме того, приведены результаты приближенной оценки температурных условий кристаллизации парагенезисов и показано их соответствие температурным условиям контактового метаморфизма.

Марганцевосиликатные породы сложены, главным образом, пироксеноидами, к которым относятся родонит, пироксмангит и бустамит (табл. 1). Родонит – самый обычный минерал этих пород. Пироксмангит распространен на Горной (Малиновский район) и, в меньшей мере, на Широкопаднинской (Ольгинский район) и Садовой (Дальнегорский район) площадях. Бустамит встречается редко. Он, как и другие богатые Са минералы – пироксен диопсид-геденбергит-иогансенитовой серии и манганаксинит, характерен только для Широкопаднинской площади. Породы Широкопаднинской и Садовой площадей отличаются присутствием недосыщенных и бедных Si минералов – тефроита и манганпиросмалита. Наиболее обычным алюмосиликатом в изученных породах является спессартин, в том числе его V-содержащая разновидность, но на Горной площади наряду со спессартином широко распространены полевые шпаты и флогопит. В породах Широкопаднинской и Горной площадей присутствуют Ва-содержащие полевые шпаты и слюды. На Горной площади распространен гиалофан, а на Широкопаднинской встречается (редко) цельзиан. Особенностью флогопита Широкопаднинской площади является высокое содержание Ва – до 10,89 % массы ВаО (Kazachenko et al, 1988), и отсутствие Ni, тогда как в флогопите Горной площади присутствуют оба элемента, но в качестве незначительной примеси (0, n % массы). Марганцовистые осадки Широкопаднинской площади были обогащены Са, Fe и бедны щелочами. Поэтому марганцевосиликатные породы содержат группу богатых Са (клинопироксен, бустамит, манганаксинит, манганактинолит) или Fe (магнетит, даннеморит) минералов и ассоциаций, отсутствующих или редких в породах других площадей. Низкое содержание щелочей выражается в редкой встречаемости флогопита и в высоком содержании в нем Ва, компенсировавшего недостаток К, а также в присутствии цельзиана вместо калишпата. Осадки Горной площади отличались низкой кальциевостью и железистостью, повышенной магниальностью и высоким содержанием щелочей. Здесь нет богатых Са минералов и ассоциаций. Распространены магниальный амфибол – тиродит, и богатые щелочами минералы – альбит, калишпат, гиалофан и флогопит.

Пороодообразующие минералы слагают парагенезисы (табл. 2), в которых, при относительно высокой температуре преобладают, как правило, минеральные фазы системы “ $MnSiO_3-CaSiO_3-MgSiO_3-FeSiO_3$ ” – пироксеноиды и пироксены. Реже встречаются недосыщенные Si парагенезисы, в которых наряду с пироксеноидами и пироксенами присутствует тефроит. Кроме пироксеноидов, пироксенов и тефроита пороодообразующие парагенезисы включают минералы глинозема (спессартин, флогопит, калиевый полевой шпат, цельзиан, гиалофан, альбит) и Ti (пирофанит). С понижением температуры метаморфизма в них появляются марганцовистые амфиболы, манганпиросмалит, марганцовистый хлорит и некоторые другие минералы. В пироксен-, и пироксеноидсодержащих парагенезисах марганцевосиликатных пород *Широкопаднинской площади* присутствуют все минеральные фазы системы “ $MnSiO_3-CaSiO_3-MgSiO_3-FeSiO_3$ ”, за исключением волластонита (рис. 2). Пределы изменения состава родонита Широкопаднинской площади на диаграмме

Таблица 1

Главные минералы марганцевосиликатных пород Сихотэ-Алиня

Горная площадь	Широкопаднинская	Мокрушинская	Садовая
родонит	родонит	родонит	родонит
кварц	кварц	кварц	кварц
спессартин	спессартин	спессартин	спессартин
пирофанит	пирофанит	пирофанит	пирофанит
пироксмангит	пироксмангит		пироксмангит
Мп-хлорит	Мп-хлорит		Мп-хлорит
флогопит	Ва-флогопит		мушкетерит
Мп-актинолит	Мп-актинолит		
тиродит	тиродит		
	тефроит		тефроит
родохрозит	родохрозит		
	пиросмалит		пиросмалит
гиалофан	цельзиан		
калишпат			
альбит			альбит
	магнетит	магнетит	
	даннеморит		
	клинопироксен		
	бустамит		
	Мп-аксинит		
			алабадин

“ $MnSiO_3-CaSiO_3-(Mg,Fe)SiO_3$ ” согласуются с присутствием в марганцевосиликатных породах наряду с родонитом бустамита (или аксинита), пироксенов (или амфиболов) и пироксмангита. Бустамит относится к наиболее бедной Са разновидности (31,3-36,3 мол. % $CaSiO_3$). Клинопироксен является диопсидом, обогащенным кальцием, геденбергитовым и иогансенитовым миналами. Пироксмангит в породах этой площади встречается редко и представлен очень бедной Са и Mg разновидностью, содержащей до 24 мол. % железистого минала. В марганцевосиликатных породах Садовой площади из минеральных фаз системы “ $MnSiO_3-CaSiO_3-MgSiO_3-FeSiO_3$ ” обнаружены только родонит и пироксмангит, которые часто присутствуют вместе. Нижний предел кальциевости родонита (8-10 мол. % $CaSiO_3$) соответствует родонит-пироксмангитовому парагенезису, а верхний (около 20 мол. %) при температуре метаморфизма выше 430 °С отвечал бы родонит-бустамитовому парагенезису. Однако вследствие значительно более низкой температуры – не более 330 °С (Казаченко, 2002), родонит недосыщен Са. Поэтому бустамит и другие богатые Са минералы в парагенезисе с родонитом не встречаются. Родонит и пироксмангит Садовой площади отличаются от одноименных минералов Широкопаднинской площади низким содержанием Fe и Mg. На Горной площади пироксеноиды представлены родонитом и пироксмангитом. Для нее характерно распространение пироксмангит-родонитового парагенезиса. Содержание кальциевого минала в родоните невелико (до 13 мол. %) и только в редких случаях достигает 18-19 мол. %. Особенностью родонита, наряду с низкой кальциевостью, является очень низкое содержание железистого (за редким исключением, не более 5 мол. %) и повышенное (до 9-10 мол.%) содержание магниального минала. Пироксмангит беден

Таблица 2

Минеральные ассоциации марганцевосиликатных пород Сихотэ-Алиня

Горная площадь	Широкопаднинская	Мокрушинская	Садовая
Род+Гр+Прф+Кпш-Гф+Кв	Гр+Акс+Прф+Ам+Род	Прф+Гр+Кв+Род	Гр+Род
Род+Гр+Акс+Хл+Ка	Кв+Гр+Мт+Род		Гр+Тф+Прс+Род
Род+Гр+Тир+Кв	Гр+Прф+Ам+Род		Гр+Тф+Бм+Род
Род+Гф+Хл	Гр+Прф+Пи+Пи		Гр+Прт+Род
Прт+Кпш-Гф	Гр+Акс+Ам+Хл+Прф+Род		Тф+Прт+Прс+Род
Прт+Гр+Кпш-Гф+Прф	Ам+Род		Прт+Ал+Хл+Тф+Род
Прт+Гр+Кпш-Гф+Кв	Гр+Прф+Ам+Рх+Прс+Род		Прф+Гр+Тф+Род
Род+Гр+Рх	Прф+Мт+Цл+Бст+Род+Тф		
Род+Гр+Кпш+Аб	Гр+Пи+Род+Тф+Бст		
Прт+Гр+Кпш-Гф+Фл+Кв	Гр+Тф+Род		
Прт+Гр+Тир	Гр+Рх+Тф+ Род	Символы минералов.: Род – родонит, Прт – пироксмангит, Тф –тефроит, Бст- бустамит, Пи – пироксен, Гр – гранат, Прф – пирофанит, Ам – амфибол, Акс – манганактинолит, Дн – даннеморит, Тир – тиродит, Кпш – калиевый полевоый шпат, Аб – альбит, Гф –гиалофан, Цл – цельзиан, Кв – кварц, Хл – хлорит, Ка – манган-кальцит, Рх – родохрозит, Фл – флогопит, Акс – аксинит, Мт – магнетит, Прс – манганпиросмалиит, Ор – ортит, Бм – бементит, Ал – алабандин.	
Род+Гр+Кпш	Род+Гр		
Прт+Гр+Кв	Род+Гр+Прф+Пи+Мт+Ор		
Прт+Гр+Кв+Прф+Кпш	Род+Прф+Мт		
Род+Гр	Пи+Гр+Прф		
Род+Прт	Гр+Фл		
Прт+Гр	Гр+Прф		
Прт+Гр+Фл+Прф	Гр+Род+Прф		
Гр+Гф	Гр+Род+Акс		
Род+Кпш	Гр+Прс+Дн		
Род+Прт+Гр+Фл	Род+Гр+Прс		
Прт+Гр+Фл+Гф	Прт+Прс+Дн		
Род+Прф+Гф+Аб	Прт+Гр+Прс+Дн+Рх		
Прт+Гр+Фл+Кпш+Прф			
Прт+Гр+Прф+Фл+Гф			

Са и Fe. Содержания марганцевого и магниезиального миналов в этом минерале изменяются в широких пределах. Встречаются редкие, очень богатые Mg разновидности.

К недосыщенным Si парагенезисам относятся тефроитсодержащие, появление которых обычно связано с процессами метаморфизма или метасоматического замещения бедных Si (существенно родохрозитовых) марганцевых пород. Тефроит Широкопаднинской площади во всех парагенезисах отличается невысоким содержанием Fe и Mg. Количество фаялитового минала изменяется от 12,5 до 23,4 мол. %, форстеритового – от 5,1 до 8,8 мол. %. Максимальное количество фаялитового минала в тефроите характерно для магнетитсодержащего (пирофанит-магнетит-цельзиан-бустамит-родонит-тефроитового) парагенезиса, а минимальное – для парагенезисов с богатым андрадитовым миналом гранатом (гранат-тефроит-родонитовой и гранат-родохрозит-тефроит-родонитовой). На Садовой площади тефроит встречается в родонитсодержащих, и родонит-, и пироксмангитсодержащих парагенезисах. Во всех случаях ему свойственно низкое содержание фаялитового минала (0-15 мол. %). При примерно одинаковой магниезиальности тефроит Широкопаднинской площади в целом отличается от этого минерала Садовой площади большим содержанием фаялитового минала.

В марганцевосиликатных породах всех изученных площадей гранат представлен спессартином с подчиненным количеством гроссулярового, альмандинового, пиро-

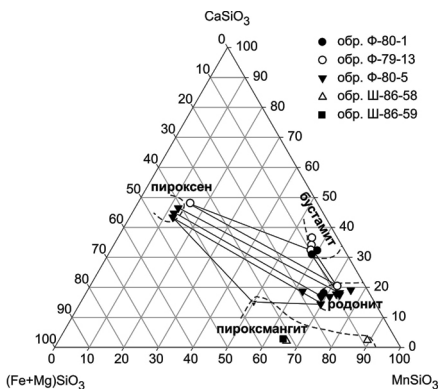


Рис. 2. Пироксен-, бустамит- и пироксмангит-содержащие ассоциации марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади.

пового и андрадитового миналов. Для Широкопаднинской, Мокрушинской и Горной площадей характерна, кроме того, редкая в природе V-содержащая разновидность. Спессартин присутствует почти во всех парагенезисах, как высокотемпературных, так и средне-низкотемпературных, вместе с амфиболами, хлоритом, марганцопироксмангитом и другими минералами. Его состав зависит от минерального состава парагенезиса и P-T условий кристаллизации (Казаченко, 2002). В высокотемпературных бедных Mg парагенезисах пироксенов и пироксеноидов гранат по соотношению содержаний (в ат. %) Ca, Fe^{2+} и Mn^{2+} близок к сосуществующему с ним пироксеноиду. В породах Широкопаднинской площади, содержащих парагенезисы с пироксмангитом, родонитом и бустамитом, для него, как и следовало ожидать, характерен широкий «гроссуляр-спессартиновый» изоморфизм при низком содержании альмандинового и почти полном отсутствии пиропового миналов (рис. 3а). Содержание гроссулярового минала колеблется от 3 до 36 мол. %, но в единичных случаях оно достигает 67 мол. %. Наиболее кальциевые разновидности граната (~ 26-36 мол. % кальциевого минала) характерны для клинопироксен-, бустамит-, или аксинитсодержащих парагенезисов. Гранат из клинопироксенсодержащих парагенезисов отличается высокой суммой Mg и Fe. Гранат из аксинитсодержащих парагенезисов богаче Ca по сравнению с гранатом из парагенезисов с бустамитом. Для граната Садовой площади, несмотря на отсутствие в породах бустамитсодержащих парагенезисов, связанное, как отмечалось выше, с невысокой температурой метаморфизма, также характерен широкий «гроссуляр-спессартиновый» изоморфизм (рис. 3б). Отличие от граната Широкопаднинской площади заключается в меньшем содержании альмандинового минала. В марганцевосиликатных породах Горной площади, сложенных в отличие от аналогичных пород Ольгинского и Дальнегорского рудных районов более бедными Ca парагенезисами, содержание гроссулярового минала в гранате обычно не превышает 12 мол. % и только в единичных случаях достигает 16 мол. % (рис. 3в). Этот минерал беден альмандиновым миналом (до 6 мол. %, редко – до 11 мол. %). От граната из марганцевосиликатных пород Ольгинского и Дальнегорского рудных районов он отличается большим содержанием пироповой составляющей.

Полевошпатасодержащие парагенезисы, также как и парагенезисы с гранатом и флогопитом, относятся к глиноземсодержащей системе. Появление в парагенезисах наряду с гранатом или вместо него полевых шпатов или флогопита зависело от содержания щелочей, Ва и Mg в исходных отложениях. Флогопитсодержащие

(иногда большого) количества альбитовой молекулы. Флогопит на Широкопаднинской площади встречается в парагенезисе с гранатом и апатитом (Kazachenko et al., 1988). Он богат Ba (1,83-10,89 % массы BaO), Mn (2,08-3,86 % массы) и содержит довольно много Fe как в двух-, так и в трехвалентном состоянии. На Горной площади флогопит встречается в парагенезисе с гранатом, пироксеноидами и полевыми шпатами. Он тоже содержит Ba, но лишь в виде незначительной примеси, и от флогопита Широкопаднинской площади отличается, кроме того, присутствием Ni, низким содержанием Fe и Ti и необычайно высоким – F.

Пирофанит присутствует почти во всех парагенезисах марганцевосиликатных пород Ольгинского, Дальнегорского и Малиновского рудных районов. Содержание ильменитового минала в пирофаните Широкопаднинской площади колеблется от 6 до 44 мол. %. Оно зависит от минерального состава парагенезиса. Наиболее высокое содержание Fe характерно для пирофанита из гранат-пирофанит-двупироксенового, гранат-пирофанит-пироксенового и гранат-пирофанит-амфибол-родохрозит-пиромалит-родонитового парагенезиса. Пирофанит из пород Мокрушинской площади в парагенезисе с родонитом и спессартином имеет невысокую железистость (около 16 мол. % ильменитового минала). В парагенезисах марганцевосиликатных пород Горной и Садовой площадей пирофанит отличается низкой железистостью. Содержание ильменитового минала изменяется от 0 до 13 и от 4 до 9 мол. %, соответственно. Изредка встречается V-содержащая разновидность, обычно совместно с V-содержащим гранатом.

Амфибол-пироксеноидные парагенезисы в марганцевосиликатных породах Сихотэ-Алиня сменяли пироксен-пироксеноидные по мере понижения температуры с течением времени или с удалением от контактов интрузий. Амфиболы представлены богатыми Mn членами тремолит-ферроактинолитовой серии, тиродитом и даннеморитом. Тип амфибола зависел от региональных вариаций химического состава марганцевосиликатных пород. В породах Широкопаднинской площади, относительно богатых Ca и Fe и сложенных обогащенными этими элементами парагенезисами, наиболее широко распространенным амфиболом является манганактинолит. Значительно реже (в бедных кальцием породах) встречаются даннеморит и тиродит. В породах Малиновского района, отличающихся низкой кальциевоcтью, железистостью и повышенной магниезильностью, амфибол обычно представлен тиродитом. Состав амфибола тремолит-ферроактинолитового ряда Широкопаднинской площади изменяется от состава богатого Mn тремолита, почти не содержащего Fe⁺² и встречающегося редко, до состава манганактинолита с Fe/Fe+Mg~40 мол. %. Амфибол тремолит-ферроактинолитового ряда Горной площади относится к богатому Mn тремолиту. Его состав согласуется с низкой кальциевоcтью и железистостью, а также с повышенной магниезильностью парагенезисов, слагающих марганцевосиликатные породы этой площади.

В работе приведены новые сведения о температурных условиях кристаллизации марганцевосиликатных пород Ольгинского и Малиновского рудных районов (табл. 3). Они подтверждают и дополняют уже имевшиеся данные и сделанные выводы (Казаченко, 2002). Температурные пределы кристаллизации марганцевосиликатных пород изученных районов согласуются с условиями контактового метаморфизма и зависят от положения относительно контактов гранитоидных интрузий. Эти обстоятельства подтверждают вывод о контактово-метаморфической природе марганцевосиликатных пород изученных районов и площадей.

Температуры (°С) кристаллизации породообразующих ассоциаций

Образец	Минеральный тип, ассоциация	Родонит-бустамит. термометр	Гранат-родонит. термометр*	Альбит-калишпат. термометр*	Актинолит. термометр*	Родонит-амфибол. термометр*
Горная						
Эв-01-24	Прф-Кв-Прт		535	550		
Эв-93-203	Прф-Гр-Гф-Кв-Прт		≥350			
Широкая падь						
Р-80-60	Гр-Акс-Прф-Амф-Род		400		410-425	420
Ф-79-32	Кв-Гр-Мт-Род		450-480			
Р-80-11	Гр-Прф-Амф-Род		350-360		350	400-420
Р-80-15	Гр-Акс-Амф-Хл-Прф-Род		360-370		410	420
К-80-2	Амф-Род				390	400
Ш-86-41	Гр-Прф-Амф-Рх-Прс-Род		440-450		330-340	420
Ф-80-1	Прф-Мт-Цз-Бст-Род-Тф	560				
Ф-79-23	Гр-Род-Кн-Прф		475			
Ф-79-3	Гр-Род-Кн-Прф		490			
Ф-79-13	Гр-Род-Кв-Мт		450			
Р-80-6	Гр-Род-Амф-Акс-Кв		250-375			
Садовая						
С-11	Гр-Род-Кв		220-330			

Таким образом, как показано выше, в парагенезисах марганцевосиликатных пород Ольгинского, Дальнегорского и Малиновского рудных районов преобладают силикаты двухвалентного Mn, наряду с которыми встречаются гялофан, целъзиан, Ва-, или Ni-содержащий флогопит, алабандин и другие редкие минералы и минеральные разновидности. Свойственные этим районам различия в минеральном составе парагенезисов и составах одноименных минералов марганцевосиликатных пород обусловлены, главным образом, вариациями содержания Са, Fe и щелочей в исходных отложениях и температурными условиями контактового метаморфизма.

Второе защищаемое положение. Типоморфными для марганцевосиликатных пород рудных районов Сихотэ-Алиня являются редкоземельная минерализация, торий-урановая и никель-кобальтовая, а также ассоциации самородных элементов и интерметаллических соединений. Ассоциации самородных элементов и интерметаллических соединений, образовавшиеся при контактовом метаморфизме и причуроченные к порам и микротрещинам с органическим веществом, являются показателями локально проявившихся ультравосстановительных условий.

Детальные минералогические исследования позволили выявить большое количество рудных минералов. Широко распространены галенит, сфалерит, вольфрамит, шеелит, молибденит, касситерит, станнин и сульфиды Fe. Обычными являются минералы Ni, Co, As, Sb, Bi, Te, редкоземельных, благородных и многих других элементов. Наряду с распространенными в природе минералами присутствуют неназванные или редкие соединения (табл. 4, 5). Рудные минералы (за исключением большой группы самородных элементов и интерметаллидов, о которых будет сказано несколько ниже) образуют рассеянные микровключения в породообразующих минералах марганцевосиликатных пород без признаков реакционного взаимодействия и кристаллизовались

Таблица 4

Рудные минералы в марганцевосиликатных породах
Широкопаднинской и Мокрушинской площадей

Широкопаднинская площадь				Мокрушинская площадь	
монацит	тетраэдрит	медь	CuPb	монацит	сурьма
торианит	буланжерит	цинк	CuSn	торианит	медь
уранинит	джерсонит	свинец	Cu₃Sn₂	вольфрамит	вольфрам
ортит	леллингит	селен	Cu₃Sn	кобальтин	
шеелит	арсенопирит	графит	Cu-Sn	костибит	
вольфрамит	пирротин	Co₂Cr	Cu₂(Sn,Pb)₄	(Co,Ni)S	
касситерит	пирит	Fe₂Ce	PbSn₃	паркерит	
молибденит	станнин	Fe₂Cr	PbSn₄	арсенопирит	
кобальтин-герсдорфит	халькопирит	Fe₄Cr	Cu-Sn-Pb	пирротин	
ульманит	Cu₃S₂	Fe₅Cr	Cu₂Zn₃	пирит	
коринит	сфалерит	(Fe,Ni)₂Cr	(Cu,Ni)₂Zn	станнин	
(Co,Ni)(As,Sb)S	галенит	(Fe,Ni)₇Cr	(Cu,Ni)₈Zn₃	сфалерит	
пентландит	Fe₃P	FeMo₂	Ni-Cu-Zn	монтанит	
никелин	Fe₄P	Fe₄Mo₇	Cu₂Zn₂		
миллерит	Fe₅P	Fe₂Mo₃	Cu₄Ni		
Ni ₂ (Te,Sb,As) ₃	(La,Ce,Nd)Si₂	Fe₂(Cu,Mo)₃	Cu₁₁Ni₃		
брейтауптит	вольфрам	Fe₃Mo₄	NiCuSn		
никелин-брейтауптит	молибден	Fe₅Mo₆	Sn-Ni-Cu		
имгрэйт	олово	Fe_{0,35}Mo_{0,65}	Pb(Sb,Sn)		
Ni ₃ (Te,Sb,As) ₄	никель	FeMo	Hg₂(Tl,Pb)		
алтаит	железо	Fe_{0,55}Mo_{0,45}	PbBi		
цумоит	висмут	Fe₄Mo₃	Pb-Bi		
висмутин	сурьма	Fe₃Mo₂	Bi₂(Pb,Sn,Cd)₃		
антимонит					

Примечание: жирным шрифтом выделены самородные элементы и интерметаллиды.

в тех же условиях, что и минералы-хозяева. В работе в качестве типоморфных рассматриваются редкоземельная минерализация, торий-урановая и кобальт-никелевая, собственные марганцевосиликатным породам всех изученных площадей.

Кроме рудных минералов, в которых металлы присутствуют в том или ином валентном состоянии, обнаружены разнообразные самородные элементы и интерметаллические соединения (см. табл. 4, 5). В отличие от вышеупомянутых минералов они образуют микровыделения, приуроченные преимущественно к порам и микротрещинам с органическим веществом. Ассоциации самородных элементов и интерметаллических соединений с одной стороны тоже типоморфны для марганцевосиликатных пород, а с другой – являются показателями локально проявившихся ультравосстановительных условий кристаллизации.

Редкоземельная минерализация представлена монацитом, ортитом, соединением CeZrO₄, оксидом (La,Ce,...)₂O₃, гидроксидом (Ce,La,...)O(OH,F) и гидроксилбастнезитом. Редкоземельные элементы присутствуют в апатите, уранините и торианите. Для пород Широкопаднинской площади (Ольгинский район) характерным минералом является ортит. Монацит встречается гораздо реже. В породах Мокрушинской (Ольгинский район) и Горной (Малиновский район) площадей, напротив, распространен монацит. Разная степень распространения этих минералов в породах разных

Рудные минералы марганцевосиликатных пород
Горной и Садовой площадей

Горная площадь			Садовая площадь	
монацит	Ni_4As_3	никель	$(Ce,La,Nd,Pr)_2O_3$	вольфрам
бадделейт	брейтгауптит	железо	$(Ce,La)O(OH)$	висмут
$(Ce,La,Nd,Pr)_2O_3$	бравойт	висмут	бастнезит	медь
$(La,Ce\dots)O(OH,F)$	орселит	сурьма	$CeZrO_4$	свинец
бастнезит	$Ni_4(S,As,Sb)_3$	медь	бадделейт	Co-W
$(Na,Ba)ZrF_6$	цумоит	цинк	уранинит	Cu(Sn,Pb)
уранинит	антимонит	свинец	вольфрамит	Cu₃Sn
торианит	тетраэдрит	графит	касситерит	(Cu,Ni)₃Sn
ортит	тетраэдрит-теннантит	Co-W	вульфенит	Cu₄(Sn,Hg)
шеелит	бурнонит	Cu₃Sn₂	кобальтин-герсдорфит	Cu₅Sn
вольфрамит	арсенопирит	Cu₄Sn	пентландит	(Cu,Ni)₂(Sn,Pb)
тунгстенит	пирротин	Cu-Sn	полидимит	Pb₃Sn₂
касситерит	пирит	Pb₂Sn	никелин	Pb-Sn
молибденит	халькопирит	PbSn₆	миллерит	(Cu,Ni)₂Zn₃
кобальтин-герсдорфит	Cu_3S_4	Pb₅Sn₃	зигенит	Hg₂Tl
$(Co,Ni)_{12}As_4S_{13}$	сфалерит	Cu₂Zn	цумоит	маухерит
$(Ni,Co)_4(Sb,Bi,As,Te)_4S_4$	галенит	Cu₃Zn₂	тетраэдрит	
никелин	киноварь	Cu₃Zn₂-Cu₂Zn	пирротин	
$Ni_3As_2S_2$	$(Cu,Ni)S$	(Cu,Ni)₄Zn₃	пирит	
миллерит	Ni₁₁P₂	(Cu,Zn)₁₃Al₃	сфалерит	
$Ni_4(S,As)_3$	ZnSi₂(?)	PbBi	галенит	
паркерит	вольфрам	Ni-Bi		
Ni_4AsS_4	олово	маухерит		

Примечание: Жирным шрифтом выделены самородные элементы и интерметаллические соединения.

площадей обусловлена вариациями состава металлоносных осадков. Более высокое содержание Ca в марганцевосиликатных породах Широкопаднинской площади обеспечивало устойчивость ортита и способствовало связыванию P в апатите. Последнее обстоятельство неблагоприятно для образования монацита. На Садовой площади ортит и монацит не обнаружены – здесь встречаются оксид и гидроксид редкоземельных элементов, бастнезит и соединение $CeZrO_4$. В анализах минералов всех изученных площадей из редкоземельных элементов обычно отмечаются только La, Ce и Nd, образующие относительно высокие концентрации. В монаците иногда фиксируется немного Sm, а в ортите, оксиде и гидроксиде – Pr. Содержание остальных редкоземельных элементов и Y ниже уровня чувствительности рентгеноспектрального микроанализатора. Характерной изоморфной примесью в монаците является Th.

Торий-урановая минерализация в марганцевосиликатных породах всех изученных площадей присутствует в виде минерала уранинит-торианитового изоморфного ряда. С другой стороны, породы разных площадей различаются по составу этого минерала, который изменяется от состава «чистого» уранинита, до состава обогащенного U торианита. Для пород Широкопаднинской и Мокрушинской площадей характерен существенно ториевый тип этой минерализации. На Широкопаднинской площади распространен U-содержащий торианит и, в меньшей мере, богатый Th урани-

нит. Иногда в ториианите присутствует немного Zr, Ce и Nd. В породах Мокрушинской площади установлен бедный U ториианит. Для пород Садовой и Горной площадей характерен существенно урановый тип. На Садовой площади распространен уранинит, не содержащий Th или бедный этим элементом. Иногда в нем отмечается немного Ce или Zn. В породах Горной площади преобладает не содержащий Th уранинит, иногда богатый Zr. Разная роль Th и U в составе Th-U минерализации согласуется с их валовым содержанием в породах разных площадей (Мирошниченко, Перевозникова, 2007) и связана с особенностями состава глинистой части исходных осадков. Широкое распространение полевых шпатов и мусковита в породах Горной и Садовой площадей свидетельствует об обогащении первичных отложений слюдами, являющимися концентраторами U. В породах Широкопадинской и Мокрушинской площадей минералы K и Na, за исключением единичных находок богатого Ba флогопита, не встречаются.

Кобальт-никелевая минерализация представлена многочисленными соединениями Co и Ni с S, As, Sb, Bi и Te. Наиболее типичен минерал кобальтин-герсдорфитового ряда, присутствующий в породах всех изученных площадей. Его состав колеблется от состава «чистого» герсдорфита до состава «чистого» кобальтина. Характерной примесью является Sb. На Широкопадинской площади распространены в основном богатые Co разновидности (рис. 4). Богатые герсдорфитовым миналом (более 65 мол. %) члены ряда редки. Особенностью этой площади является высокое содержание Sb в минерале кобальтин-герсдорфитового ряда и присутствие богатого As ульманита. На Мокрушинской площади, в отличие от Широкопадинской, Горной и Садовой, распространены наиболее богатые Co члены кобальтин-герсдорфитового ряда, ассоциирующие с сурьмянистым аналогом кобальтина – костибитом. В марганцевосиликатных породах Горной площади совместно с минералом кобальтин-герсдорфитового ряда, паркеритом и его мышьяковым аналогом встречаются минералы группы гаухекорнита – гаухекорнит, тучекит и их существенно мышьяковый аналог (рис. 5). Преобладает тучекит и, в меньшей мере, мышьяковая разновидность (рис. 5а). Особенностью паркерита является присутствие примеси Sb или (редко) Te. Наряду с паркеритом изредка встречается его мышьяковый аналог, содержащий примесь Pb. В марганцевосиликатных породах присутствует обширная группа сульфидов, арсенидов и антимонидов Ni и Co. Породы Горной площади отличаются распространением миллерита, зачастую содержащего As, и присутствием сульфида Ni необычного состава Ni_4S_3 , иногда очень богатого As и Sb. Никелин и брейтгауптит встречаются относительно редко и, как правило, обогащены S. Никелин содержит переменное количество Sb, а брейтгауптит – As. Все упомянутые минералы, в отличие от одноименных минералов Широкопадинской площади, обогащены Co. В породах Горной площади встречаются, кроме того, богатые Ni арсениды – орселит и Ni_4As_3 . Последний минерал, очевидно, является природным аналогом известного искусственного соединения такого же состава. Оба арсенида содержат немного Sb. В породах Мокрушинской и Садовой площадей рассматриваемая группа минералов представлена богатыми или обогащенными Co сульфидами – необычной разновидностью миллерита, в которой Co преобладает над Ni, а также зигенитом, полидимитом и пентландитом, соответственно. Преобладание сульфидов над арсенидами и обогащенность их Co сближает породы Мокрушинской и Садовой площадей с породами Горной площади. Марганцевосиликатные породы Широкопадинской площади отличаются преобладанием арсенидов и антимонидов Ni над его сульфидами и отсутствием или низ-

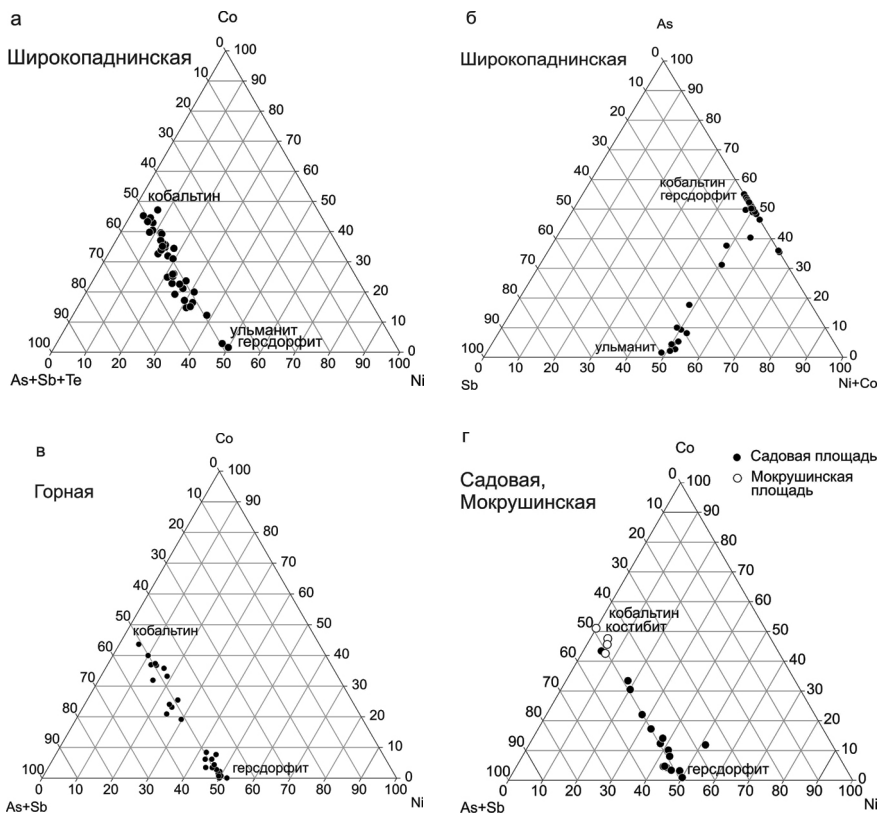


Рис. 4. Особенности состава минералов с общей формулой $(Ni,Co)(As,Sb,Te)S$ из марганцевосиликатных пород Широкопаднинской, Горной, Садовой и Мокрушинской площадей.

ким содержанием Co в этих минералах. В этих породах распространены никелин, брейтгауптит и промежуточные члены никелин-брейтгауптитового ряда. Эти минералы, в отличие от аналогичных фаз Горной площади, не содержат S (за редким исключением). Особенностью пород Широкопаднинской площади является присутствие теллуридов Ni – имгрэита и соединений состава Ni_3Te_4 и Ni_2Te_3 (рис. 6), обогащенных As и, особенно, Sb .

Ассоциации самородных элементов и интерметаллических соединений в породах разных площадей по набору минералов в целом похожи (см. табл. 4 и 5), но наблюдаются и индивидуальные особенности. Породы Широкопаднинской площади содержат разнообразные фосфиды Fe и силицид редкоземельных элементов, а Горной – фосфид Ni и силицид Zn . Породы Широкопаднинской площади отличаются, кроме того, присутствием интерметаллидов Fe и Cr , Fe и Mo , а также самородного Mo .

В изученных породах установлено 15 элементов в самородном состоянии – W , Mo , Sn , Ni , Fe , Bi , Sb , Cu , Zn , Pb , Se , C , Au , Ag и Pt . Вольфрам обычно содержит изоморфную примесь Co , реже Ni . Обнаружение самородного Mo относится к числу уникальных минералогических находок. Он встречается в виде зерен разме-

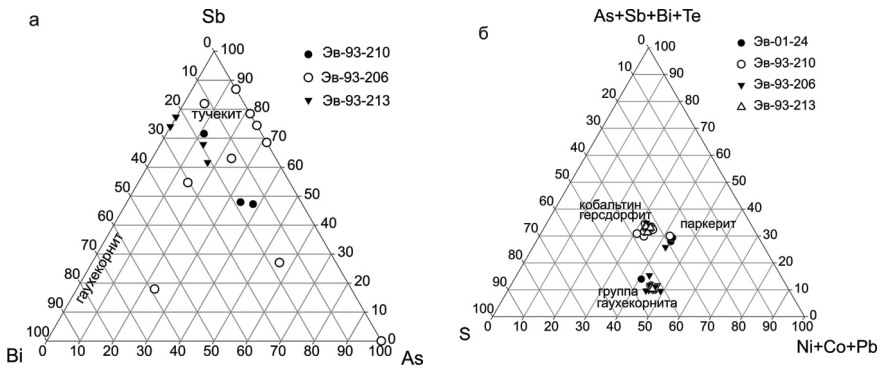


Рис. 5. Особенности состава минералов группы гаухекорнита из пород Горной площади.

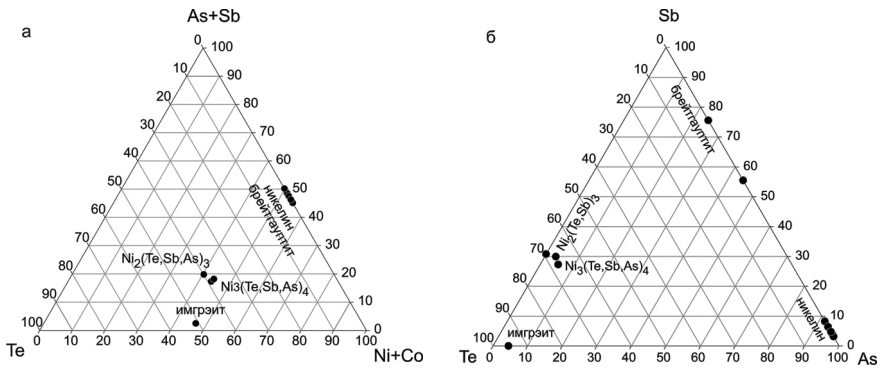


Рис. 6. Особенности состава теллуридов Ni Широкопаднинской площади.

ром до 6x8 мкм совместно с зернами интерметаллидов Fe и Mo. *Самородное Sn* присутствует в ассоциации с разнообразными интерметаллидами и твердыми растворами Sn с Cu, Zn, Pb и Ni. В качестве примеси обычно содержит Cu, Zn или Pb. В самородном Sn Широкопаднинской площади, кроме того, присутствуют Bi, Ag и As. В *самородном Ni* иногда присутствует немного Co и, возможно, Fe. *Самородное Fe* содержит немного Cu. В *самородном Bi* Широкопаднинской площади, ассоциирующем с Bi-содержащим самородным Sn, отмечаются Pb, Zn, Sn и W. На Горной площади этот минерал содержит Ni и немного Ag, а на Садовой – Pb. В *самородной Sb* присутствует примесь Zn (Широкопаднинская площадь) или Pb (Садовая площадь). *Самородная Cu* характерна для Широкопаднинской, Мокрушинской и Горной площадей. Наиболее обычной примесью является Sn. *Самородный Zn* встречается в ассоциации с разнообразными интерметаллидами и твердыми растворами Zn, Cu, Ni, Sb и Pb. Обычно содержит примесь Pb. Характерной примесью *самородного Pb* является Sb. Селеновая минерализация присутствует в породах Широкопаднинской, Горной и Садовой площадей, однако самородный Se обнаружен только на Широкопаднинской площади. Он содержит немного S. *Графит* – обычный минерал марганцево-силикатных пород Широкопаднинской и Горной площадей, метаморфизованных

в высокотемпературных условиях.

Особенностью марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади является распространение соединений Fe с P, Cr, Mo и Se. Для пород Горной площади более обычные соединения P не с Fe, а с Ni (реже – с Zn). Группа *фосфидов железа, никеля и цинка*, присутствующих в марганцевосиликатных породах, представляет большой интерес в минералогическом и в генетическом отношении. Известно, что P и Fe образуют ряд соединений, состав которых отвечает формулам FeP_2 , FeP , Fe_2P , Fe_3P , Fe_5P и др. В природном состоянии до настоящего времени обнаружены только FeP , аллабогданит (ромбический) и баррингерит (гексагональный) с одинаковой формулой $(Fe,Ni)_2P$, а также шрейберзит $(Fe,Ni)_3P$ и его структурный аналог никельфосфид (Scala, Drabek, 2003). Фосфиды Fe характерны для метеоритов и продуктов горения углей (Минералы. Т. 1, 1960; Нишанбаев, 2001; и др.). Никельфосфид присутствует в составе метеоритов Батлер, Онелло и Вициене и в структурном отношении соответствует Fe-содержащему шрейберзиту (Scala, Drabek, 2003). Соединение FeP впервые обнаружено в продуктах изменения углевмещающих пород горящих отвалов Челябинского бассейна (Нишанбаев, 2001) совместно со шрейберзитом и баррингеритом.

На Широкопаднинской площади выявлены соединения Fe и P, состав которых отвечает идеальным формулам Fe_3P , Fe_4P и Fe_5P . Фосфид Fe_3P встречается совместно с самородными Pb, Fe, Ni, W и Se, а также с интерметаллами Cu_2Zn , Cu_3Zn_3 , $Cu_{11}Ni_3$, Cu_4Ni , Sn_4Pb , $PbSn_3$, Cu_3Sn_2 , Fe_2Se , Fe_2Cr , Fe_4Cr , Fe_5Cr , твердыми растворами Cu, Ni и Zn и многими другими минералами. Для этой фазы, являющейся аналогом безникелевого шрейберзита, характерно присутствие Mn, V и Cr. Состав отвечает формуле $(Mn_{0,08}Fe_{2,96})_{3,04}(V_{0,01}Cr_{0,08}P_{0,88})_{0,97}$. Такой же безникелевый шрейберзит недавно был обнаружен в горелых отвалах Челябинского угольного бассейна (Нишанбаев, 2001). Соединение Fe_4P встречается совместно с самородными Zn, W, Sn и Sb, соединениями Cu_3Zn_2 , $NiCuSn$, $Pb(Sn,Sb)$ и $Hg_2(Tl,Pb)$. Анализ пересчитывается на формулу $(Fe_{3,87}Mn_{0,09})_{3,96}P_{1,04}$. Фосфид Fe_5P обнаружен в образце, содержащем фосфид Fe_4P и сопутствующие ему минералы. Его анализ пересчитывается на формулу $Fe_{5,03}P_{0,97}$. Встречается Mn-содержащая разновидность, анализ которой соответствует формуле $(Mn_{0,18}Fe_{4,81})_{4,99}P_{1,01}$.

Из известных соединений P и Ni (Ni_3P , Ni_4P , Ni_5P_2 , Ni_2P , NiP_2 , NiP_3 и др.) в природном состоянии пока обнаружено, по-видимому, только одно – рабдит (или никельфосфид), представляющий собой существенно никелевую разновидность шрейберзита. В марганцевосиликатных породах обнаружено соединение $Ni_{11}P_2$. Оно встречается в породах Горной площади совместно с самородными Sn, Ni, Sb, Pb, маухеритом, соединениями Cu_3Sn_2 , $(Cu,Ni)_3Zn_2$ и другими минералами. К числу наиболее интересных минералов марганцевосиликатных пород относятся *силициды*. В породах Широкопаднинской площади обнаружен силицид редкоземельных элементов $(Ce,La,Nd)Si_2$, который является, очевидно, природным аналогом искусственного соединения $CeSi_2$ с тетрагональной структурой. Известны, по крайней мере, два искусственных *интерметаллических соединения Fe и Ce* состава $CeFe_2$ и Ce_2Fe_{17} . В марганцевосиликатных породах обнаружено соединение $CeFe_2$. Оно встречается совместно с самородными Zn, Pb, Ni, Cu, W и Sn, твердыми растворами Cu, Ni и Sn и с интерметаллидами Co_3Cr , $(Cu, Ni)_2Zn$ и $(Cu,Ni)_8Zn_3$. Анализ пересчитывается на формулу $Fe_{1,97}Ce_{1,03}$. Для марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади характерно присутствие *хромидов* Fe, Ni и Co. На Горной площади в аналогичных породах хромиды не обнаружены. В породах Широкопаднинской площади выявлено четыре соединения Fe

и $\text{Cr} - \text{Fe}_2\text{Cr}$, Fe_4Cr , Fe_5Cr и Fe_7Cr . Кроме того, встречается фаза Co_3Cr . Из перечисленных фаз, имеющих искусственные аналоги, до последнего времени было известно, очевидно, только одно природное соединение состава Fe_7Cr . Оно обнаружено в виде тонких пленок на гранях карбоната и алмазов (Makeev et. al., 2001; и др.). В марганцевосиликатных породах Fe_7Cr содержит немного Ni и встречается совместно с твердыми растворами Sn, Bi и Cd, самородными Sn, Zn, Bi, Mo и интерметаллидами Mo и Fe. Остальные хромиды встречаются совместно друг с другом и с самородными Fe, Ni, Zn, Cu, W, Se, твердыми растворами и интерметаллидами Cu, Zn, Pb и Ni, фосфидами Fe и с другими минералами. Наряду с соединением Fe_7Cr в породах Широкопаднинской площади встречается Ni-содержащая разновидность. Количество Ni достигает 0,55 ф.е.

В марганцевосиликатных породах всех площадей, кроме Мокрушинской, присутствуют интерметаллиды и твердые растворы Cu, Sn, Pb, Zn, Ni и Al в разных комбинациях. Они относятся к системам “Cu-Sn-Pb” (рис. 7), “Cu-Ni-Zn”, “Cu-Ni-Sn”, “Pb-Sb-Sn”, “Cu-Al-Zn” и др.

Третье защищаемое положение. В образовании марганцевосиликатных пород рудных районов Сихотэ-Алиня выделяется три основных этапа: 1 этап – накопление обогатенных благородными и другими металлами, гидроокислами марганца и органическим веществом кремнистых и глинисто-кремнистых илов; 2 этап – диагенез восстановительного типа, обусловивший преобразование металлоносных осадков в кремнисто-родохрозитовые породы; 3 этап – контактовый метаморфизм кремнисто-родохрозитовых пород, при котором в результате реакции между кремнистым, глинистым и карбонатным веществом образовались породы, сложенные, главным образом, силикатами и алюмосиликатами двухвалентного марганца.

Марганцевосиликатные породы всех изученных площадей приурочены исключительно к кремнистым отложениям триасового возраста. Они слагают пластовые или линзообразные тела небольшой протяженности, ориентированные согласно залеганию вмещающих пород. Коренные выходы на поверхности сгруппированы в протяженные цепочки, параллельные простиранию вмещающих пород (Казаченко, Сапин, 1990). Выходы марганцевосиликатных пород локализованы в контактовых ореолах крупных гранитоидных интрузий мелового возраста. С удалением от гранитоидных массивов они сменяются пластовыми выходами кремнистых пород, насыщенных крипнокристаллическим родохрозитом и сильно загрязненным непрозрачным пылевидным веществом. Тела кремнисто-родохрозитовых пород частично замещены ассоциациями марганцевых силикатов без изменения морфологии или превращены

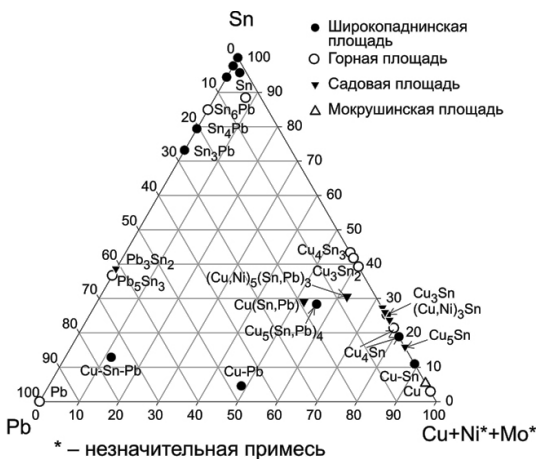


Рис. 7. Минеральные фазы системы “Cu-Sn-Pb”.

в линейно-вытянутые штокверкоподобные зоны марганцевосиликатного состава в местах пересечения их системами трещин. Степень таких преобразований возрастает с приближением к гранитоидным массивам. Все эти факты свидетельствуют об образовании марганцевосиликатных пород южной части Сихотэ-Алиня в результате контактового метаморфизма и гидротермальной переработки кремнисто-родохрозитовых и, в меньшей мере, родохрозитовых линз, пластов или горизонтов.

Выводы о морфологии тел, согласном залегании в кремнях и возникновении марганцевосиликатных пород в результате метаморфизма кремнисто-карбонатных пород или руд очень важны в генетическом отношении. Они позволяют сделать заключение о том, что исходным материалом являлись осадки триасового возраста и что важную роль в образовании марганцевосиликатных пород Ольгинского, Дальнегорского и Малиновского районов играли процессы диагенеза и контактового метаморфизма. Все перечисленные выводы согласуются с результатами изучения подобных образований и часто сопутствующих им оксидно-карбонатно-силикатных и оксидно-силикатных марганцевых руд в других регионах мира. Примерами могут служить карбонатно-марганцевосиликатные породы в верхнеюрских радиоларитах Альп (Peters et al., 1973; Peters et al., 1978; Trommsdorf et al., 1970; и др.), девонские оксидно-карбонатно-силикатные, оксидно-силикатные руды и марганцевосиликатные породы Урала (Брусницын, Жуков, 2005; Старикова и др. 2004; и др.), а также триасовые пластовые месторождения Японии (Ватанабэ и др., 1973; Sato, 1980) оксидно-карбонатно-марганцевосиликатного типа. Все они согласно залегают в силицитовых горизонтах и образовались в результате контактового или регионального метаморфизма богатыми марганцевыми карбонатами отложений.

Кремнисто-родохрозитовый состав подвергшихся контактовому метаморфизму пород изученных районов свидетельствует о восстановительном характере диагенеза исходных отложений, в результате которого весь марганец был восстановлен до двухвалентного состояния. Это обстоятельство указывает на обогащении исходных осадков органическим веществом. Такой вывод подтверждается пространственной ассоциацией марганцевосиликатных и близких к ним по возрасту углеродистых пород, а также присутствием в составе первых разнообразных форм органического вещества и, в том числе, графита. Исключительная роль двухвалентного марганца в марганцевосиликатных породах при отсутствии минералов трех-, и четырехвалентного марганца свидетельствует об унаследованности восстановительного режима при контактовом метаморфизме.

Положение марганцевосиликатных пород и яшм в разрезе триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня вблизи границы среднего и позднего триаса соответствует периоду завершения процессов более или менее интенсивного накопления глинистого и органического вещества. Кроме того, если следовать представлениям многих исследователей (Ватанабэ и др., 1973; Брусницын, Жуков, 2005; и др.) о первичной гидротермально-осадочной природе яшм и марганцевых пород, это положение отвечает и интенсивному проявлению субмаринной гидротермальной деятельности. В этой связи показательны результаты изучения вещественного состава марганцевосиликатных пород Ольгинского и Малиновского рудных районов, свидетельствующие о том, что исходные осадки являлись металлоносными, и (с учетом их положения в разрезе и особенностей состава) имеют гидротермально-осадочное происхождение. По содержанию Mn марганцевосиликатные породы этих районов попадают в разряд промышленных марганцевых руд. Они относятся к нерудным образо-

ваниям только из-за силикатной формы Mn. Марганцевосиликатные породы отличаются аномально высокими концентрациями многих других металлов (Ba, Ni, Co, Cu, Zn, Pb, Ag, Au, Pt и др.) (Мирошниченко, Перевозникова, 2007), характерных для современных рудных накоплений океана, связанных с подводной гидротермальной деятельностью. Так, например, в поверхностных осадках центральной части впадины Дерюгина выявлено аномально высокое (до 5% массы) содержание Mn (Астахова, 2000, 2007). Определены также очень высокие скорости его накопления в локальных участках (до 60 мг/см² тыс. лет) (Астахов и др., 2000). Донные осадки этой котловины обогащены, кроме Mn, многими другими металлами. Содержание BaO в драгах и в отдельных слоях колонок достигает 22,5 % массы, Zn – 304 г/т, Ni – 228, Cu – 300, Sr – 5200, Ag – 57 г/т (Астахова, 2007). Во впадине Дерюгина присутствуют баритовые постройки (Астахова и другие, 1987), а в придонной воде над ними выявлены высокие содержания метана (Cruise Report, 1999; Кулинич, Обжиров, 2003). В баритовых рудах, имеющих, как считается, гидротермальную природу, количество Zn достигает 0,2 %, а Ni – 0,08 % массы (Астахова, 2007).

Представлению о металлоносности исходных осадков и первоначальной гидротермально-осадочной природе соответствует положение точек состава марганцевосиликатных пород изученных районов на диаграммах “Al-Fe-Mn” и “(Al+Ti)·100-(Fe+Mn)·100”. Эти диаграммы широко используются для оценки доли гидротермальной составляющей в осадочных образованиях. Их использование определяется разделяемым многими исследователями представлением о том, что основным источником Fe и Mn являлись субмаринные гидротермальные растворы, а Al и Ti – терригенный материал (Старикова и др., 2004). Как показано на примере Широкопадинской и Горной площадей, точки состава марганцевосиликатных пород на диаграмме “Al-Fe-Mn” располагаются в поле рудоносных отложений, резко обогащенных элементами, поступавшими в область седиментации с гидротермальными растворами. Они образуют поле, в пределах которого располагается, как и следовало ожидать, и точка кремнисто-родохрозитовых пород (руд), сохранившихся при контактовом метаморфизме в наиболее удаленных от гранитов участках Широкопадинской площади. На диаграмме “(Al+Ti)·100-(Fe+Mn)·100” точки состава марганцевосиликатных и кремнисто-родохрозитовых пород Широкопадинской площади располагаются в полях металлоносных и рудоносных осадков. По содержаниям породообразующих элементов марганцевосиликатные породы изученных районов соответствуют марганцевым рудам других регионов мира, в которых преобладают карбонатная и оксидно-карбонатная формы Mn. Это соответствие, в частности, выражается в совпадении на диаграммах “Al-Fe-Mn” и “(Al+Ti)·100-(Fe+Mn)·100” полей состава марганцевосиликатных пород Широкопадинской и Горной площадей и залегающих в силицитах оксидно-карбонатно-силикатных марганцевых руд Южного Урала. Основное отличие рассматриваемых марганцевосиликатных пород от упомянутых выше руд, заключающееся в силикатной форме Mn, связано с особенностями окислительно-восстановительного режима диагенеза и температурных условий метаморфизма.

Для оценки вклада гидрогенной и гидротермальной составляющих в современных марганцевых накоплениях океана часто используется диаграмма Э. Бонатти с авторами (Bonatti et al., 1972). На этой диаграмме точки среднего состава марганцевосиликатных пород Широкопадинской и Горной площадей располагаются в поле гидротермальных образований.

В настоящее время для определения основного источника вещества марганцевых накоплений в океане используются различные отношения редкоземельных элементов. Одной из таких характеристик является величина Eu/Sm . Значение этого показателя в морской воде и в поровых растворах составляет 0,25, в гидротермальных высокотемпературных растворах осевой зоны Восточно-Тихоокеанского поднятия – 2,19-3,18 (Варенцов, 1993). В качестве другой характеристики используется иттриевая аномалия, которая рассчитывается из отношения Y/No . Если это отношение больше 28, то аномалия положительна, если меньше – отрицательна. Считается, что положительная аномалия присуща гидротермальным железомарганцевым образованиям (Вау, 1995).

В марганцевосиликатных породах Ольгинского района величина Eu/Sm изменяется в пределах 0,21-0,30, за исключением двух проб (из 13), в которых она значительно выше – 0,36 и 0,47. Величина среднего отношения составляет 0,26. В породах Малиновского рудного района Eu/Sm (в 18 пробах) колеблется примерно в тех же пределах (0,19-0,32) за несколькими исключениями. Среднее значение составляет 0,24. Таким образом, по европий-самариевому отношению марганцевосиликатные породы следует относить к гидrogenным или, возможно, к гидротермальным, но значительно удаленным от устья гидротермальной системы образованиям. По иттрий-гольмиевому отношению они являются гидротермальными образованиями с ярко выраженной положительной иттриевой аномалией.

Изложенные выше факты в их совокупности дают основания для отнесения марганцевосиликатных пород изученных районов к продуктам контактового метаморфизма металлоносных осадков гидротермально-осадочной природы. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что металлоносные осадки представляли собой обогащенные гидроокислами Mn , органическим веществом и многими металлами кремнистые и глинисто-кремнистые илы, которые существенно различались по составу глинистого материала. Судя по распространению калиевого полевого шпата и альбита в марганцевосиликатных породах, глинистый материал в осадках Горной площади был обогащен гидрослюдами, тогда как в глинистой части аналогичных осадков Широкопадинской площади преобладал каолинит (?). Этими различиями обусловлены различия в содержании галлия в марганцевосиликатных породах (Казаченко, Мирошниченко, Перевозникова и др., 2006) и в торий-урановом отношении. Другой особенностью осадков Широкопадинской площади, как следует из минерального состава ассоциаций марганцевосиликатных пород и составов слагающих их минералов, являлись повышенные кальциевость и железистость.

При рассмотрении процессов гидротермально-осадочного рудообразования большинство исследователей придерживается представлений о том, что рудоносные флюиды образуются в результате циркуляции (рециклинга или термоконвекции) по системам трещин морской воды в разогретых (из-за наличия магматического очага) породах океанического дна. Вода активно взаимодействует с вмещающими породами, в результате чего обогащается многими рудными элементами. Формирующиеся таким способом рудоносные растворы поднимаются к поверхности морского дна и при смешивании с холодной морской водой осаждают рудные компоненты. Чаще всего такой механизм используется при рассмотрении генезиса современных и древних колчеданных залежей, железомарганцевых корок и конкреций и многих месторождений марганцевых руд (Рой, 1986; Варенцов и др., 1993; Bonatti et al., 1976; Crerar et al., 1982; Ashley, 1989; Shan, Khan, 1999; и др.). Подобная генетическая модель при-

нята для марганцевых месторождений Южного Урала (Старикова и др., 2004; Брусницын, Жуков, 2005), руды которых по многим признакам, как было показано выше, близки к марганцевосиликатным породам Ольгинского, Дальнегорского и Дальнереченского районов.

Региональное распространение триасовых углеродистых отложений в Сихотэ-Алине и тесная ассоциация с ними марганцевосиликатных пород могут свидетельствовать о накоплении Mn неподалеку от суши (континента, цепочки островов, атоллов). Возможно, это происходило в глубоководных впадинах, подобных впадине Дерюгина в Охотском море, где отмечаются два возрастных уровня с максимальным содержанием карбонатного и органического углерода (до 2 % массы) в осадках (Gorbarenko et al., 2002).

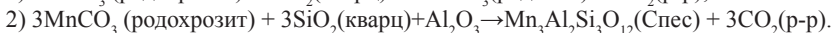
Геологическая позиция упомянутых выше марганцевых месторождений Южного Урала определяется их распространением в пределах Магнитогорского палеоостроводужного пояса. Эти месторождения приурочены к отложениям средневерхнедэвовского возраста, которые по современным представлениям сформировались в пределах активной океанической окраины, в обстановке энзиматической островной дуги и примыкающего к ней задугового (междугового) бассейна (Брусницын, 2008). Согласно Л.И. Гурской с соавторами (Гурская и др., 1999) платиноносные черносланцевые толщи образуются в различных геологических обстановках. Однако наиболее благоприятные условия их накопления существуют в окраинно-континентальных осадочных и вулканогенно-осадочных бассейнах, отличающихся субмаринным характером терригенно-карбонатных отложений и активным проявлением эксгалационно-гидротермальной деятельности. Близки к подобной точке зрения и представления И.П. Ермолаева с соавторами (Ермолаев и др., 1999) о формировании первичных повышенных концентраций Au и PGE в осадках в виде металлоорганических соединений (предопределявших образование рудных скоплений в черносланцевых формациях) в условиях морского шельфа-подводной окраины материка. Марганцевосиликатные породы изученных районов, согласно современным представлениям о тектоническом строении Сихотэ-Алиния (см. рис. 1), залегают среди отложений, относимых к глубоководным океаническим комплексам.

По минералогии, минеральным ассоциациям, геологическим условиям залегания и возрасту марганцевосиликатные породы южной части Сихотэ-Алиния очень близки к рудам многих марганцевых месторождений Японии. Эти месторождения представлены линзами, неправильными телами и пластовыми залежами окислов и карбонатов марганца, залегающими согласно с вмещающими породами (Lee, 1955; Ватанабэ и др., 1973; и др.). Многие из этих месторождений, залегающих исключительно в триасовых кремнистых породах, расположены в контактовых ореолах гранитоидных интрузий (Ватанабэ и др., 1973). Вследствие этого слагающие их карбонатные марганцевые руды полностью или частично замещены марганцевыми силикатами и алюмосиликатами с образованием марганцевосиликатных пород, по минералогии и ассоциациям очень похожих на марганцевосиликатные породы южной части Сихотэ-Алиния. Эти породы имеют разнообразный состав, особенностью которого является присутствие пироксмагита, тефрита, родонита, марганцовистых разновидностей амфиболов (манганактинолита, тиродита и даннеморита), богатого барием флогопита, спессартина, пирофанита, бариевого полевого шпата и многих других минералов, широко распространенных и в марганцевосиликатных породах Ольгинского, Дальнегорского и Малиновского районов.

В рудах многих марганцевых месторождений Японии (Нода-Тамагава, Касо, Тагути и др.) присутствуют никелин, герсдорфит, кобальтин, пентландит, виоларит, с которыми ассоциирует урановая минерализация (уранинит). Руды некоторых месторождений содержат богатый церием ортит (Кинко, Кусуги, Нода-Тамагава) и гюбнерит (Кусуги, Ренге). Марганцевые руды обогащены Sr, Ba, B, As, Sb, Bi, Mo, U, Ni и Co (Ватанабе и др., 1973).

Таким образом, исходным материалом для образования марганцевосиликатных пород Ольгинского, Дальнегорского и Малиновского рудных районов служили металлоносные осадки гидротермально-осадочной природы. Они представляли собой обогащенные гидроокислами марганца, органическим веществом и многими металлами кремнистые и глинисто-кремнистые илы и впоследствии испытали диагенез восстановительного типа, в результате которого образовались кремнисто-родохрозитовые породы. В меловое время кремнисто-родохрозитовые породы претерпели контактовый метаморфизм, связанный с внедрением и становлением крупных гранитоидных массивов.

С повышением температуры при контактовом метаморфизме в результате реакций между кремнистым, карбонатным и глинистым веществом кремнисто-родохрозитовые породы были преобразованы в марганцевосиликатные. Этот процесс в упрощенном виде можно отразить в виде реакций:



Температурные условия метаморфизма марганцевосиликатных пород, определенные с использованием нескольких геотермометров при выполнении данных исследований и в более ранних работах, как уже отмечалось выше, соответствовали температурным условиям контактовых ореолов гранитоидных массивов и зависели от положения относительно контактов интрузий. Максимальная температура метаморфизма составляла около 550-580 °С. По мере удаления от кровли интрузий или остывания массивов она снижалась до 250-300 °С. Парагенезисы марганцевосиликатных пород Садовой площади, на которой отсутствуют выходы крупных гранитоидных интрузий, являются в целом гораздо более низкотемпературными (200-330 °С), чем ассоциации аналогичных пород Ольгинского и Малиновского рудных районов.

По окислительно-восстановительным условиям метаморфизма породообразующие ассоциации марганцевосиликатных пород кристаллизовались в условиях фаялитовой (Малиновский рудный район) и фаялитовой и кварц-магнетитовой (Ольгинский и Дальнегорский рудные районы) субфаций манганозит-магнетитовой фации (Казаченко, 2002). Рудные минералы, содержащие металлы в валентном состоянии, слагают неравномерно рассеянные равновесные включения в породообразующих минералах, и таким образом по температурным и окислительно-восстановительным условиям кристаллизации соответствуют минералам-хозяевам. Ассоциации самородных элементов и интерметаллических соединений, судя по присутствию среди них самородных W, Mo, силицидов, фосфидов, хромидов и других минералов, кристаллизовались в высоко-, и ультравосстановительных условиях. Они приурочены к многочисленным микротрещинам в породах, содержащим органическое вещество разной степени «зрелости». Соответствие по элементному составу свидетельствует о том, что самородные элементы и интерметаллические соединения образовались за счет присутствовавших в породе минералов с валентными формами металлов, и что в этом процессе активное участие принимало органическое вещество.

Самородные элементы и интерметаллические соединения марганцевосиликатных пород изученных районов являются довольно высокотемпературными образованиями. Температурный интервал кристаллизации минералов этой группы соответствует температурным условиям контактового метаморфизма металлоносных отложений южной части Сихотэ-Алиня. Например, уровень содержания Au в самородном Ni (Мирошниченко, Перевозникова, 2009), как следует из диаграммы состояния системы “Au-Ni” (Диаграммы состояния двойных металлических систем. Т. 1, 1996), свидетельствует о кристаллизации этого минерала при температуре не менее 440 °С. Уровень содержания Ni в самородном Au (Казаченко и др., 2008; Мирошниченко, Перевозникова, 2009) из металлоносных пород южной части Сихотэ-Алиня соответствует температуре около 500-550 °С. Содержание Cu в самородном Ag достигает 8 мол. %, что, согласно диаграмме фазового состояния системы “Ag-Cu”, соответствует температуре около 640 °С. Заметная растворимость Cu в Al отмечается только при температуре выше 400 °С (Диаграммы состояния двойных металлических систем. Т. 1, 1996). Самородный Al из метаморфизованных металлоносных осадков южной части Сихотэ-Алиня содержит 0,8 мол. % Cu, что соответствует кристаллизации при температуре не ниже 450 °С. Заметная растворимость Co в Au характерна только при температуре выше 400 °С. В контактово-метаморфизованных металлоносных осадках южной части Сихотэ-Алиня встречается самородное Au с содержанием Co около 2 мол. %, что соответствует температуре кристаллизации не менее 500 °С.

Учитывая все сказанное выше, можно заключить, что образование самородных элементов и интерметаллических соединений в марганцевосиликатных породах изученных районов происходило в процессе контактового метаморфизма металлоносных пород в высоко- и ультравосстановительных условиях, но только вблизи микротрещин. Таким образом, окислительно-восстановительные условия метаморфизма вблизи микротрещин и в остальном объеме пород резко различались. Это различие связано, очевидно, с удалением из пород при их прогревании в зоны пониженного давления (микротрещины) наиболее летучих компонентов (в первую очередь, плохо связанной воды и углеводородов) и возникновением, таким образом, некоторого объема флюида с ультравосстановительными способностями.

Таким образом, в образовании марганцевосиликатных пород Ольгинского, Дальнегорского и Малиновского рудных районов Сихотэ-Алиня выделяется три основных этапа: 1 этап – накопление обогащенных благородными и другими металлами, гидроокислами марганца и органическим веществом кремнистых и глинисто-кремнистых илов; 2 этап – диагенез восстановительного типа, обусловивший преобразование металлоносных осадков в кремнисто-родохрозитовые породы; 3 этап – контактовый метаморфизм кремнисто-родохрозитовых пород, при котором в результате реакций между кремнистым, глинистым и карбонатным веществом образовались породы, сложенные, главным образом, силикатами и алюмосиликатами двухвалентного марганца.

Происхождение металлоносных осадков связано с деятельностью подводных гидротермальных источников («конвективных ячеек»). В результате этой деятельности в триасовое время гидротермальными растворами из океанической коры в морской бассейн выносилось большое количество Mn, Fe, благородных и многих других металлов. Одним из фактов, свидетельствующих в пользу основных и ультраосновных пород океанической коры как источника металлов, является характерная для метаморфизованных металлоносных отложений изученных районов элементная ассоциация $Mn+Fe+Cu+Ni+Co+Au+Pt+Pd$.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Линзообразные и пластовые тела марганцевосиликатных пород залегают в триасовых яшмах (верхний анизий-ладин, по Ю.Г. Волохину с соавторами, 2003) или фациально замещают яшмовые горизонты триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня.

2. В парагенезисах марганцевосиликатных пород Ольгинского, Малиновского и Дальнегорского рудных районов Сихотэ-Алиня преобладают силикаты двухвалентного марганца, наряду с которыми встречаются гиалофан, цельзиан, барий-, или никельсодержащий флогопит, алабандин и другие редкие минералы и минеральные разновидности. Свойственные этим рудным районам различия в минеральном составе парагенезисов и составах одноименных минералов марганцевосиликатных пород обусловлены, главным образом, вариациями содержания кальция, железа и щелочей в исходных отложениях и температурными условиями контактового метаморфизма.

3. Типоморфными для марганцевосиликатных пород рудных районов Сихотэ-Алиня являются редкоземельная минерализация, торий-урановая и никель-кобальтовая, а также ассоциации самородных элементов и интерметаллических соединений. Ассоциации самородных элементов и интерметаллических соединений, образовавшиеся при контактовом метаморфизме и приуроченные к порам и микротрещинам с органическим веществом, являются показателями локально проявившихся ультравосстановительных условий.

4. В образовании марганцевосиликатных пород рудных районов Сихотэ-Алиня выделяется три основных этапа: 1 этап – накопление обогащенных благородными и другими металлами, гидроксидами марганца и органическим веществом кремнистых и глинисто-кремнистых илов; 2 этап – диагенез восстановительного типа, обусловивший преобразование металлоносных осадков в кремнисто-родохрозитовые породы; 3 этап – контактовый метаморфизм кремнисто-родохрозитовых пород, при котором в результате реакций между кремнистым, глинистым и карбонатным веществом образовались породы, сложенные, главным образом, силикатами и алюмосиликатами двухвалентного марганца.

5. Происхождение металлоносных осадков связано с деятельностью подводных гидротермальных источников («конвективных ячеек»). В результате этой деятельности в триасовое время гидротермальными растворами из океанической коры в морской бассейн выносились большое количество Mn, Fe, благородных и многих других металлов. Одним из фактов, свидетельствующих в пользу основных и ультраосновных пород океанической коры как источника металлов, является характерная для метаморфизованных металлоносных отложений изученных районов элементная ассоциация $Mn+Fe+Cu+Ni+Co+Au+Pt+Pd$.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., **Перевозникова Е.В.**, Карабцов А.А. «Сихотэ-Алинь как возможная провинция гидротермально-осадочных месторождений золота, серебра, платиноидов, олова, цинка, свинца и вольфрама». «Доклады АН», Т. 410, № 1, 2006. С. 75-82.

2. Казаченко В.Т., **Перевозникова Е.В.**, Мирошниченко Н.В., Карабцов А.А., Соляник В.А. «Золото и платиноиды в скарнах Ольгинского и Дальнегорского рудных районов Приморья и некоторые вопросы металлогении южной части Сихотэ-Алиня». «Доклады АН», Т. 414, № 5, 2007. С. 667-671.

3. **Перевозникова Е.В.**, Мирошниченко Н.В. «Минералогия платиноносных марганцевых пород южной части Сихотэ-Алиня». Тезисы доклада на Всероссийской конференции «Чтения, посвященные памяти академика К.В. Симакова». Магадан, 2007. С. 100-101.

4. Мирошниченко Н.В., **Перевозникова Е.В.** «Геохимические особенности платиноносных марганцевых пород южной части Сихотэ-Алиня». Тезисы доклада на Всероссийской конференции «Чтения, посвященные памяти академика К.В. Симакова». Магадан, 2007. С. 97-98.

5. Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., **Перевозникова Е.В.**, Карабцов А.А. «Минеральные формы благородных металлов в металлоносных отложениях триасово-юрской углеродистой толщии Сихотэ-Алиня». «Доклады АН», Т. 421, № 3, 2008. С. 383-386.

6. Мирошниченко Н.В., Казаченко В.Т., **Перевозникова Е.В.**, Карабцов А.А. «Геохимия и минералогия золота, серебра, платины и палладия в металлоносных осадках Ольгинского рудного района (Сихотэ-Алинь)». Тихоокеанский рудный пояс: материалы новых исследований (к 100-летию Е.А. Радкевич). Владивосток: «Дальнаука» ДВО РАН, 2008. С. 372-390.

7. **Перевозникова Е.В.**, Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., Карабцов А.А. «Геохимия и минеральные формы золота, серебра, платины и палладия в металлоносных осадках Дальнереченского, Дальнегорского и Кавалеровского районов Приморья». Тихоокеанский рудный пояс: материалы новых исследований (к 100-летию Е.А. Радкевич). Владивосток: «Дальнаука» ДВО РАН, 2008. С. 414-428.

8. Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., **Перевозникова Е.В.**, Карабцов А.А. «Приморье – новый перспективный регион России с золото-палладий-платиновым оруденением нетрадиционного типа». «Доклады АН», Т. 425, № 5, 2009. С. 651-655.

9. **Перевозникова Е.В.**, Мирошниченко Н.В. «Таусонит и фтор-глиноземистый титанит в метаморфизованных металлоносных осадках триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня». Тихоокеанская геология, Т. 3, , № 3, 2009. С. 100-104.