

МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС БЕЛОГОРСКОГО СКАРНОВО-МАГНЕТИТОВОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ПРИМОРЬЕ)

В.Т. Казаченко, Е.В. Перевозникова, С.Н. Лаврик

*Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100 лет Владивостоку 159,
г. Владивосток; 690022, e-mail: vkazachenko@mail.ru*

Поступила в редакцию 8 апреля 2010 г.

Особенностью процесса формирования скарновых залежей Белогорского месторождения мел-палеогенового возраста является интенсивное преобразование ранних минеральных ассоциаций с понижением температуры, выразившееся в разложении граната, пироксена и пироксеноидов, увеличении количества магнетита за счет Fe этих минералов и в образовании кварца и богатых летучими компонентами соединений (кальцита, флюорита, амфибола и сульфидов). На основании геохимического и минералогического сходства предполагается существование генетической связи между марганцевистыми скарновыми залежами Белогорского месторождения (Ольгинский рудный район) и пластовыми телами марганцевосиликатных пород (контактово-метаморфизованных металлоносных осадков триасового возраста) сопредельной Широкопаднинской площади (как источника вещества).

Ключевые слова: металлоносные осадки, метаморфизм, скарны, платина, минералогия, триас, Сихотэ-Алинь.

ВВЕДЕНИЕ

Белогорское скарново-магнетитовое месторождение является одним из многих железорудных объектов Ольгинского рудного района. Научный интерес к этому и другим месторождениям, в том числе и к крупным промышленным объектам Дальнегорского района, для которых можно предполагать генетическую связь с контактово-метаморфизованными металлоносными осадками триасового возраста, определяется возможностью решения многих ключевых вопросов металлогении Сихотэ-Алиня.

Контактово-метаморфизованные (в меловое–палеогеновое время) осадки представлены кремнисто-родохрозитовыми и марганцевосиликатными породами, пластовыми железными рудами, яшмами и их марганцевистыми разновидностями, а также продуктами метаморфизма углеродистых кремнисто-глинистых пород [7–9]. В ассоциации с метаморфизованными металлоносными осадками обнаружены продукты гидротермальной переработки металлоносных горизонтов, залегающие в породах разного состава и возраста и тоже обогащенные благородными и многими другими металлами. Они слагают тела различной морфологии и состава, в том числе залежи марганцевистых скар-

ноподобных (амфибол-пироксеновых и эпидот-пироксеновых) пород [10].

В Дальнегорском и Ольгинском рудных районах распространены скарновые месторождения с полиметаллическим, железным и борным оруденением, приуроченные к рифогенным известнякам карбон-пермского и триасового возраста. Их образование связано со становлением крупных гранитоидных массивов позднемелового–палеогенового возраста. Общей особенностью скарнов этих месторождений, в том числе и Белогорского, является высокая марганцевистость. Ранее было высказано предположение о существовании генетической связи между скарновыми и некоторыми жильными месторождениями южной части Сихотэ-Алиня, с одной стороны, и контактово-метаморфизованными металлоносными осадками триасовой кремневой формации (как источника вещества), с другой [10]. Основанием для этого явились тесная пространственная ассоциация марганцевистых скарновых (Дальнегорское боросиликатное, Садовое полиметаллическое, Белогорское железорудное) и жильных (Высокогорское оловянно-полиметаллическое и др.) месторождений с метаморфизованными триасовыми металлоносными осадками (в том числе с кремнисто-родохрозитовыми и

марганцевосиликатными породами), обогащенными элементами, определяющими металлогенический профиль южной части Сихотэ-Алиня. Кроме того, марганцовистые скарны Ольгинского и Дальнегорского рудных районов, независимо от вещественного состава присутствующих в них руд (железные, полиметаллические, борные), так же как и метаморфизованные металлоносные осадки, содержат Au, Ag и элементы платиновой группы [10]. На основании этих данных Приморье было отнесено к числу регионов России, перспективных на Au-Pd-Pt оруденение нетрадиционного типа [12].

Упомянутая выше генетическая связь проявляется в пространственной и временной сопряженности процессов формирования скарновых залежей и процессов контактового метаморфизма и гидротермального преобразования металлоносных осадков [5]. Она нашла свое отражение, кроме того, в геохимическом и минералогическом (как в отношении породообразующих, так и второстепенных минералов) сходстве этих геологических образований. В данной статье минералогическое сходство обосновывается материалами детального изучения породообразующих минералов Белогорского месторождения и марганцевосиликатных пород сопредельной Широкопаднинской площади.

Необходимость всестороннего изучения Белогорского и других скарновых месторождений южной части Сихотэ-Алиня определяется также высокими (по предварительным данным, отвечающими промышленным требованиям) концентрациями Au, Pt и Pd и присутствием разнообразных минералов этих элементов [10].

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Белогорское скарново-магнетитовое месторождение расположено в Ольгинском рудном районе. Западная и северо-западная часть его площади сложена гранитами Владимирского массива (поздний мел-палеоген) (рис. 1). В центральной части расположена вулканотектоническая депрессия, выполненная средними и кислыми позднемеловыми-палеогеновыми вулканитами. С северо-востока к ней примыкают граниты Владимирского массива. Остальная часть депрессии обрамлена карбон-пермскими рифогенными известняками и сланцами. На площади месторождения распространены дайки кварцевых порфиров, базальтовых, андезитовых, диабазовых порфиров и андезибазальтов позднемелового-палеогенового возраста. Месторождение состоит из четырех линзовидных залежей – Маргаритовской, Белогорской, Благодатной и Скальной (или Скального Отвода), приуроченных к контакту известняков и гранитов (рис. 2).

На некоторых участках, по данным геологоразведочных работ, они отделены от гранитов дорудными дайками кварцевых порфиров, а также блоками осадочных пород. Минералогия месторождения рассматривалась в работах Г.М. Лобановой [15, 16] и, особенно детально, Т.Я. Гуляевой [1–3].

Благодатная, Маргаритовская и Белогорская залежи имеют сходный минеральный состав и строение. Они сложены гранатом, магнетитом, апатитом, небольшим количеством пироксена, бустамита, везувиана и продуктами средне-, низкотемпературного изменения скарнов – хлоритом, амфиболом, карбонатом, кварцем, сульфидами, куспидином [16], флюоритом, датолитом, родонитом, манганактинолитом [18] и другими минералами. Наиболее важные результаты, касающиеся генезиса месторождения, получены авторами при детальном изучении текстурных особенностей пород и взаимоотношений различных минеральных образований в карьере Благодатной залежи. Эта залежь имеет неоднородное строение, которое выражается в изменчивости количественных соотношений главных минералов – граната и магнетита. Поэтому в ней хорошо различимы блоки существенно гранатовых, магнетит-гранатовых, гранат-магнетитовых и магнетитовых пород (руд) с нечеткими контактами (постепенными переходами). С изменением количественных соотношений граната и магнетита изменяются текстурные особенности, степень развития более поздних минеральных образований, взаимоотношения граната и магнетита, противоречивость которых была подчеркнута еще Г.М. Лобановой [16], и многие другие особенности.

Гранатовая порода (скарн) имеет массивную текстуру. Она сложена гранатом сливного или кристаллического облика коричневой и желтой окраски, среди которого рассеяны редкие мелкие выделения магнетита. Другие минеральные образования встречаются в ней лишь изредка в виде небольших гранат-магнетитовых и существенно магнетитовых участков и будут рассмотрены ниже.

Магнетит-гранатовая порода (скарн) имеет, как правило, “бурундучную” текстуру, обусловленную чередованием магнетитовых и гранатовых полос. Нередко между полосами магнетита присутствуют перемычки, и текстура становится ячеистой. Можно наблюдать постепенные переходы между текстурами этих двух типов. Гранат имеет в основном коричневую или желтую окраску. Кристаллы коричневого граната иногда окаймлены или рассечены вдоль сетки микротрещин желтой разновидностью. Отдельные кристаллы имеют зеленую окраску. Для некоторых участков породы характерно проникновение магнетита в полосы граната. Также имеют место

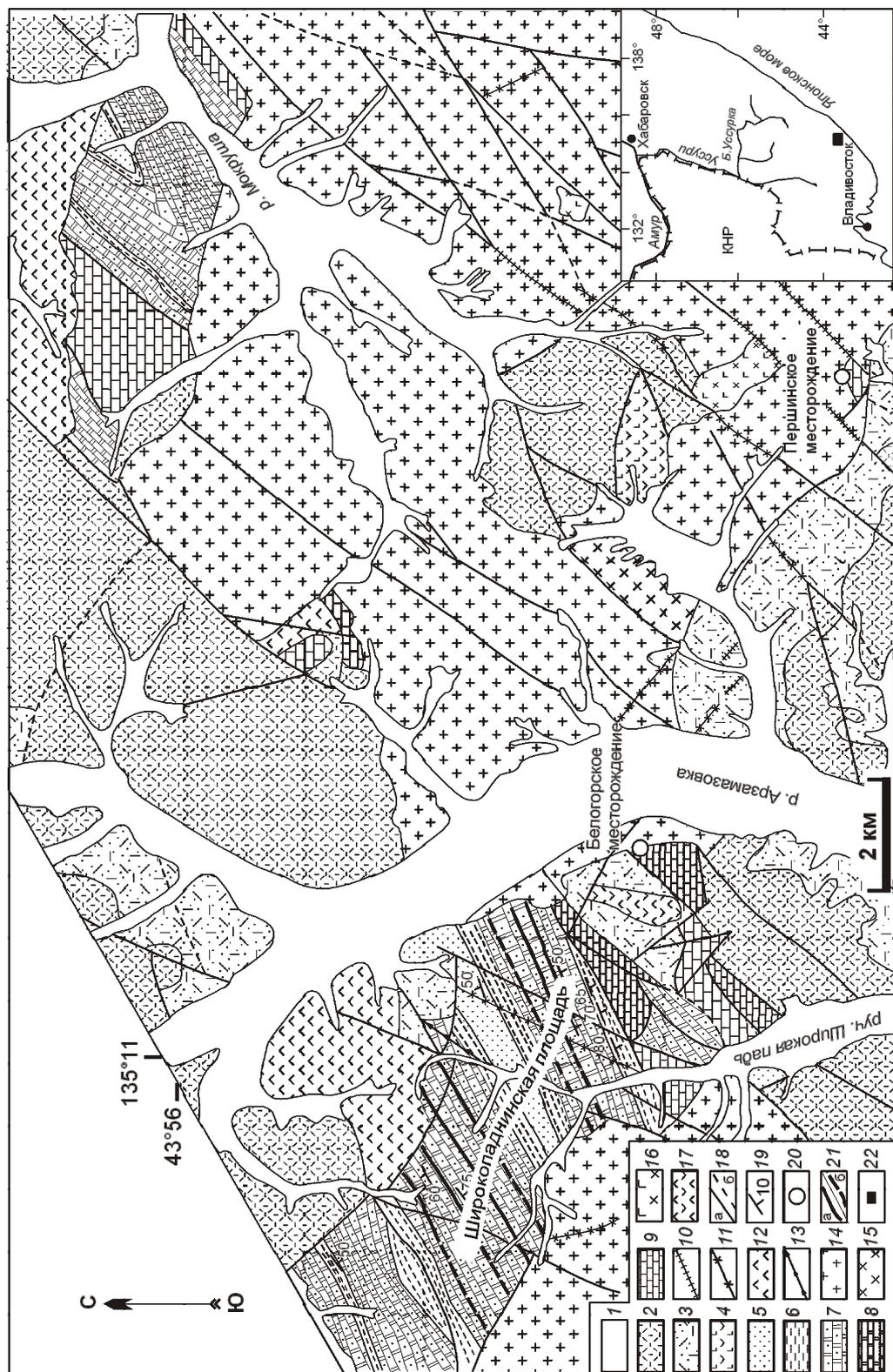


Рис. 1. Схема геологического строения фрагмента Олыгинского рудного района (по Ф. И. Ростовскому и др., 1981, с изменениями и дополнениями).
 1 – четвертичные отложения; 2 – боготольская свита (лат) – риолиты, риодациты и их туфы; 3–5 – меловая система: 3 – арзамазовская свита (турон–коньяк) – туфы и туфопесчанники риолитов, риодацитов, 4 – синанчинская свита (сенман) – андезиты, андезибазальты и их туфы, 5 – песчаниковая толща (К₁ ?); 6 – юрская система (J_{2,3}) – алевролиты, туфиты, кремнистые породы, кремнисто-глинистые сланцы, песчаники; 7, 8 – триасовая система: 7 – терригенно-кремнистая толща (T_{2,3}), 8 – существенно кремнистая (T₁); 9 – верхний палеозой – известняки, глинистые сланцы, песчаники; 10 – палеоценовый плутонический комплекс – дайки диоритов, андезитов, базальтов; 11, 12 – датский вулcano-плутонический комплекс – дайки (11) и экструзии (12) риолитов, риодацитов, гранит-порфиров; 13–17 – позднесенонский вулcano-плутонический комплекс: 13 – дайки риолитов, аплитов и петматитов, 14 – граниты, 15–17 – субвулканические интрузии диоритов (15), габбродиоритов (16), дацитов (17); 18 – разломы установленные (а) и предполагаемые (б); 19 – направление и угол падения контактов интрузивных и экструзивных тел; 20 – скарново-магнетитовые месторождения; 21 – контакто-метаморфизованные металлоносные осадки (марганцевосиликатные и кремнисто-родохрозитовые породы, железные руды и яшмы); а – установленное место-положение, б – предполагаемое; 22 – (на карте-врезке) положение района исследований.

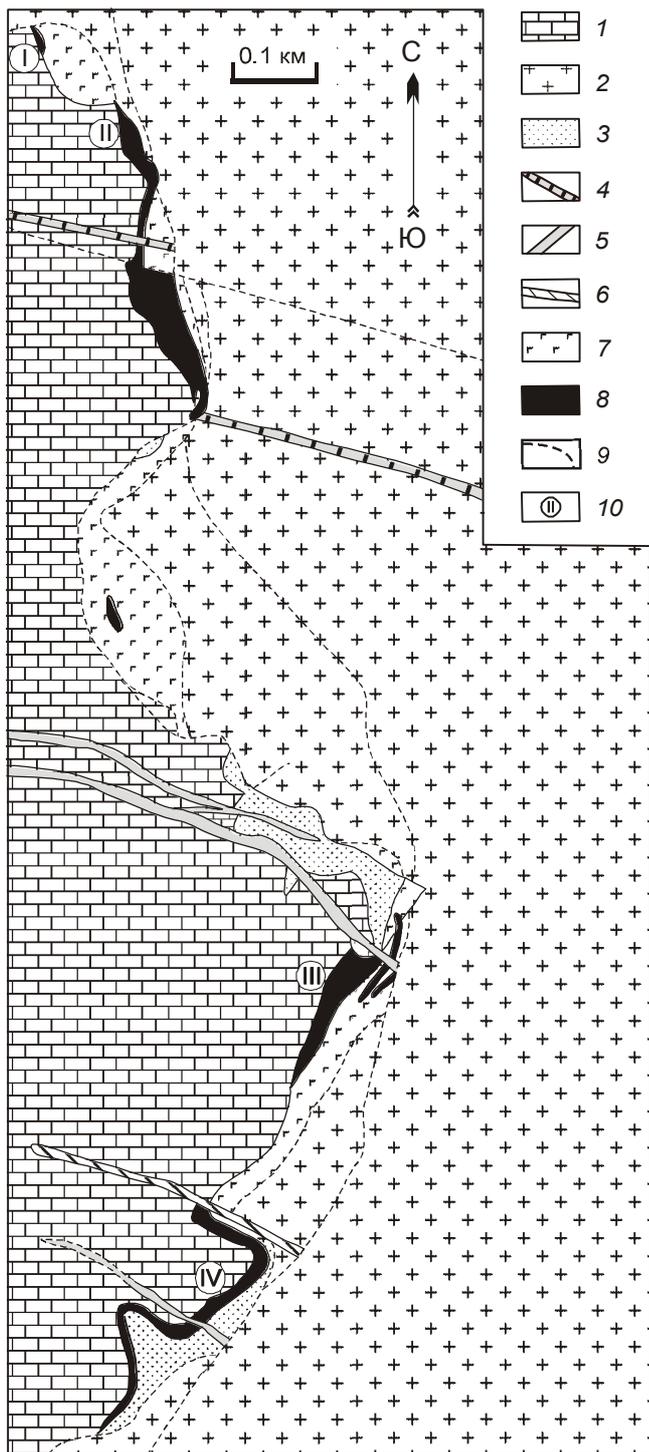


Рис. 2. Схема геологического строения Белогорского месторождения (по Бурдюгову И.С., 1945, с некоторыми упрощениями).

1 – известняки позднепалеозойского возраста, 2 – граниты Владимирского массива; 3 – измененные граниты; 4 – диабазовые порфириды; 5 – плагиоклазовые порфириды; 6 – базальтовые и андезитовые порфириды; 7 – кварцевые порфиры; 8 – скарны; 9 – тектонические нарушения; 10 – скарновые залежи (I–IV): Скальный отвод (I), Благодатная (II), Белогорская (III) и Маргаритовская (IV).

многочисленные просечки, ответвляющиеся от гранатовых и магнетитовых полос, а также маломощные прожилки и зонки гранат-карбонатного состава (с желтым или зеленым гранатом), пересекающие текстурные линии породы и выделения более раннего (коричневого или желтого) граната. В таких участках присутствуют многочисленные гнезда крупнокристаллического кальцита, содержащие редкие, иногда очень крупные (до 5 см) кристаллы магнетита и граната, а также другие минералы (манганактинолит, родонит, флюорит, сфалерит и т.д.), и резко возрастает количество магнетита вследствие замещения этим минералом граната. В отличие от магнетит-гранатовых скарнов с коричневым гранатом в карбонатных гнездах обычно преобладает желтая или даже зеленая разновидность этого минерала. В целом же магнетит-гранатовые скарны отличаются невысокой степенью развития других минеральных образований.

Гранат-магнетитовая порода (руда) характеризуется преобладанием магнетита над гранатом. Она сложена главным образом массивным магнетитом, содержащим многочисленные маломощные, различно ориентированные и быстро выклинивающиеся прожилки, просечки и линзообразные зонки гранат-карбонатного (иногда с флюоритом) состава. От магнетит-гранатового скарна эта порода отличается почти полным отсутствием раннего (первичного) граната из-за замещения его магнетитом и большим количеством прожилков гранат-карбонатного состава, фиксирующих пути наиболее интенсивного выноса Ca, Si и других элементов при замещении граната магнетитом. В прожилках, по сравнению с аналогичными образованиями магнетит-гранатовых скарнов, возрастает роль карбоната, а гранат обладает признаками растворения и коррозии. Наряду с этими особенностями в блоках гранат-магнетитовых пород значительно возрастают количество и размеры карбонатных гнезд. Гранат обычно имеет желтую окраску.

Магнетитовая порода (руда) слагает блоки, которые являются конечными продуктами преобразования скарнов и имеют наиболее сложное строение. Они состоят из массивного магнетита с многочисленными пустотами выщелачивания граната, содержащими реликты этого минерала и полностью или частично заполненными карбонатом (иногда с флюоритом). Обычно такие пустоты имеют форму прожилков, линз или просечек. От рассмотренных выше аналогичных образований гранат-магнетитовой породы они отличаются еще меньшей ролью граната и иногда содержат амфибол, флюорит, сфалерит или родонит. Магнетитовым блокам свойственно наибольшее количество карбонатных гнезд и значитель-

ное возрастание их размеров (до 1×1 м и более). Нередко на границах гнезд с окружающей магнетитовой рудой присутствуют маломощные (1–2 см) зональные каймы из многочисленных мелких (до 1–2 мм) кристаллов граната. Их внутренняя часть сложена в основном зеленым гранатом, а внешняя – зеленым и желтым, с преобладанием последнего. В каймах среди желтого и зеленого граната иногда присутствуют редкие, но более крупные (2–4 мм) кристаллы коричневого граната. Желтый и особенно зеленый гранат в виде редких неравномерно рассеянных кристаллов или их скоплений встречается также и в других частях карбонатных гнезд, но его доля незначительна. Наряду с мелкими и более поздними, чем заключающий их карбонат, кристаллами граната в гнездах нередко присутствуют единичные, очень крупные (до 2–3 см) кристаллы граната и магнетита, гнезда бесцветного крупнокристаллического флюорита размером до 30×30 см и более, просечки сфалерита мощностью до 1–2 см, приуроченные к плоскостям спайности в карбонате и на отдельных участках столь многочисленные, что образуют в этом минерале некоторое подобие сетчатой конструкции. Сфалерит имеет непостоянный состав, что выражается в изменчивости его окраски (коричневой, желтой, зеленой). Отмечались случаи приуроченности желтой

разновидности к трещинкам в коричневой. Вблизи контактов с магнетитовой рудой в карбонатных гнездах присутствуют участки разнообразной формы манганактинолитового или манганактинолит-родонитового состава. Родонит и манганактинолит – крупнокристаллические и содержат редкие включения мелких кристаллов (или их агрегатов) более позднего желтого или зеленого (редко коричневого) граната. В родоните иногда присутствуют просечки и гнезда молибденита и висмутовых минералов.

Таким образом, неоднородное строение Благодатной, Маргаритовской и Белогорской залежей связано, главным образом, с процессами средне-низкотемпературного преобразования скарнов.

Скальная залежь Белогорского месторождения приурочена к контакту известняков с кварцевыми порфирами и их туфами. Она имеет форму гнезда небольшого размера (10×7 м) с несколькими апофизами и отличается от других залежей Белогорского месторождения высоким содержанием MnO – до 18.60 % массы (табл. 1), а также почти полным отсутствием магнетита. Эта залежь сложена, главным образом, богатым Mn бустамитом. В подчиненном количестве присутствуют гранат, клинопироксен, аксинит, а также продукты средне-низкотемпературного изменения скарнов – кварц, хлорит, карбонат и амфибол.

Таблица 1. Химический состав (% массы) марганцевосиликатных и кремнисто-родохрозитовых пород Широкопаднинской площади и скарнов Скальной залежи Белогорского месторождения [5].

| Про-ба, № | Ш-86-59 | Ш-86-44 | Ш-86-58 | Ш-86-42 | Ш-86-191 | Ш-86-193 | Ш-86-194 | Ш-86-146/2 | Ш-86-151 | Ш-86-152 | Ш-86-153 | Ш-86-156 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| SiO ₂ | 42.42 | 41.77 | 43.65 | 43.12 | 41.50 | 46.06 | 32.30 | 41.90 | 43.80 | 46.30 | 43.00 | 43.40 |
| TiO ₂ | 0.18 | 0.04 | 0.29 | 0.07 | 0.13 | 0.10 | 0.06 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.02 |
| Al ₂ O ₃ | 2.44 | 1.18 | 3.56 | 1.68 | 4.30 | 2.15 | 1.04 | 0.25 | 1.50 | 0.35 | 0.50 | 0.43 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.55 | 6.24 | 2.17 | 2.46 | 1.76 | 4.70 | 0.60 | 6.10 | 6.00 | 3.40 | 9.10 | 4.90 |
| FeO | 10.09 | 3.45 | 11.83 | 4.75 | 6.70 | 0.30 | 4.80 | 8.30 | 6.00 | 8.70 | 1.50 | 8.40 |
| MnO | 31.83 | 37.76 | 29.23 | 35.52 | 31.50 | 28.30 | 23.12 | 11.60 | 4.87 | 14.70 | 18.60 | 11.60 |
| MgO | 1.31 | 1.12 | 2.72 | 1.38 | 3.20 | 3.00 | 4.50 | 1.80 | 1.95 | 0.25 | 0.20 | 0.80 |
| CaO | 3.25 | 4.58 | 2.70 | 5.13 | 3.20 | 3.20 | 9.90 | 19.17 | 22.40 | 22.00 | 19.80 | 21.00 |
| Na ₂ O | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.13 | 0.00 | 0.05 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | н.обн. | н.обн. |
| K ₂ O | 0.04 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.06 |
| H ₂ O | 0.00* | 0.00* | 0.09* | 0.09* | 2.00 | 3.20 | 1.70 | 1.20 | 2.80 | 1.20 | 2.70 | 2.10 |
| CO ₂ | н.оп. | н.оп. | н.оп. | н.оп. | 5.20 | 8.50 | 21.20 | 8.70 | 10.20 | 3.00 | 4.40 | 7.00 |
| ппп | 4.42 | 3.25 | 3.05 | 4.18 | | | | | | | | |
| P ₂ O ₅ | 0.26 | 0.16 | 0.22 | 0.28 | 0.10 | 0.13 | 0.09 | 0.03 | 0.04 | 0.02 | 0.13 | 0.20 |
| Σ | 99.86 | 99.67 | 99.60 | 99.84 | 99.64 | 99.74 | 99.44 | 99.19 | 99.72 | 100.03 | 100.03 | 99.91 |

Примечание. Широкопаднинская площадь (1–7), Белогорское месторождение (8–12). Породы: марганцевосиликатная (1–6), кремнисто-родохрозитовая (7), скарн (8–12); * – H₂O. Аналитики: Бабаева Ю.С., Грицай Р.Н., Щека Ж.А.

Широкопаднинская площадь расположена в непосредственной близости от Белогорского месторождения, между Владимирским и Широкопаднинским гранитоидными массивами (последний, по геофизическим данным, является выступом Владимирского массива). Марганцевосиликатные породы этой площади (рис. 1) образуют линзовидные тела и пласты в обогащенных органическим веществом триасовых кремнистых отложениях. Они вместе с богатыми Sn пластовыми железными (магнетитовыми) рудами залегают в яшмах позднеанизий-ладинского возраста или фациально замещают яшмовые горизонты. Марганцевосиликатные породы образовались в результате контактового метаморфизма и, отчасти, гидротермальной переработки в позднемеловое время (как и скарновые залежи Белогорского месторождения – при внедрении и становлении гранитоидов Владимирского массива) кремнисто-родохрозитовых пород, – испытавших диагенез восстановительного типа, обогащенных Mn и органическим веществом кремнистых и глинисто-кремнистых илов (металлоносных осадков). Марганцевосиликатные породы, по содержанию Mn (табл. 1) не уступающие высококачественным марганцевым рудам, сложены преимущественно родонитом, пироксмангитом, кварцем и гранатом. Встречаются тефроит, бустамит, клинопироксен, манганактинолит, марганцовистые разновидности амфибола куммингтонит-грюнеритового изоморфного ряда, пиросмалит, пирофанит, манганаксинит, цельзиан и флогопит. Наряду с этими минералами присутствуют апатит, магнетит, марганцовистый хлорит, родохрозит, манганкальцит и многие другие минералы. Сравнение марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади и скарновых залежей Белогорского месторождения по минералогии (табл. 2) обнаруживает их значительное сходство, выражающееся в присутствии большой группы одноименных породообразующих минералов. Основное отличие заключается в количественной роли минералов Са, Fe и F, которыми обогащены скарновые залежи Белогорского месторождения.

Ниже приведены результаты изучения породообразующих минералов Белогорского месторождения в сравнении с имеющимися данными для одноименных минералов марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади. Оптическая диагностика всех упоминаемых в работе минералов подтверждена многократными определениями их составов на микроанализаторе в аншлифах. Анализы минералов были выполнены В.Т. Казаченко в ДВГИ ДВО РАН на микроанализаторе JXA8100 с тремя волновыми спектрометрами и энергодисперсионным спектрометром INCAx-sight по методике, принятой в

Таблица 2. Породообразующие минералы марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади и скарновых залежей Белогорского месторождения.

| Широкопаднинская площадь | Белогорское месторождение |
|-------------------------------|-------------------------------|
| родонит | родонит |
| бустамит | бустамит |
| клинопироксен | клинопироксен |
| пироксмангит | |
| тефроит | |
| кварц | кварц |
| гроссуляр-спессартин | гроссуляр-спессартин |
| андрадит-гроссуляр-спессартин | андрадит-гроссуляр-спессартин |
| | андрадит |
| пирофанит | пирофанит |
| манганаксинит-тинценит | манганаксинит-тинценит |
| | датолит |
| марганцовистый хлорит | марганцовистый хлорит |
| флогопит | биотит |
| манганактинолит | манганактинолит |
| мангангрюнерит | |
| манганкуммингтонит | манганкуммингтонит |
| манганпиросмалит | |
| манганкальцит | манганкальцит |
| родохрозит | |
| цельзиан | санборнит |
| магнетит | магнетит |
| фторapatит | фторapatит |
| | везувиан |
| | куспидин |
| | флюорит |

этой организации. Аншлифы предварительно изучались под микроскопом, выбирались участки с включениями рудных минералов, зарисовывалась форма и взаимное расположение зерен и только после этого выполнялись исследования на микроанализаторе. Напыление препаратов производилось графитом, контактирование с металлическим держателем – графитовой пленкой. Отличие самородных элементов и интерметаллических соединений, образующих обычно включения микронной размерности, от кислородных соединений производилось только при наблюдении под микроскопом в отраженном свете по высокой отражательной способности. По содержанию кислорода в анализах делать этого нельзя из-за невысокой точности определения этого элемента и большой разницы в атомных весах кислорода и металлов

(в частности, например, олова или вольфрама). Проблема прихваченных элементов, особенно актуальная при изучении зерен микронной размерности, решалась использованием простейших приемов и возможностей, заложенных в микроанализаторе и являющихся частью стандартной методики работы на приборе. К ним относятся: 1) наблюдение в отраженных электронах с изменением яркости и контраста (для проверки отсутствия в зерне включений других минералов); 2) наблюдения в характеристическом излучении элементов, позволяющие определить набор элементов в искомом зерне и в окружающей матрице, а также отсутствие включений в искомом зерне; 3) сопоставление полученного анализа с анализом минерала, включающего искомое зерно. Для избежания ошибок в идентификации элементов, связанных с наложением линий, использовались имеющиеся в микроанализаторе программы для работы с энергодисперсионными спектрами. В сложных случаях проводились дополнительные исследования на волновых спектрометрах.

ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ

Наиболее ранними образованиями в Благодатной, Белогорской и Маргаритовской залежах, как отмечалось выше, являются скарны, сложенные гранатом, магнетитом, пироксеном и бустамитом. Такие скарны чаще всего имеют бурундучную текстуру, обусловленную чередованием маломощных полосок гранатового, магнетитового и, реже, пироксенового и бустамитового состава. Гранат и магнетит образуют кристаллы диаметром, как правило, первые мм. Более поздние минеральные образования в скарновых залежах, являющиеся продуктами средне-низкотемпературного изменения упомянутых скарнов, тоже, как уже отмечалось выше, содержат в своем составе не только новообразованный магнетит, но и гранат (из-за некоторой флуктуации условий минералообразования, главным образом, активностей CO_2 и F), но количественная роль этих минералов различна. Преобразование скарнов приводило, в целом, к резкому возрастанию количества магнетита за счет разложения граната. В Скальной залежи, изначально бедной гранатом, магнетит в продуктах изменения скарнов отсутствует.

Гранат. Гранат Белогорского месторождения (табл. 3) относится к андрадит-гроссуляр-спессартиновой изоморфной серии (рис. 3 а) и содержит иногда немного Mg, Fe^{+2} и Ti. В Благодатной и Маргаритовской залежах распространен андрадит и его разновидности с примесью кальдеритового (до 3.3 мол. %) и кохаритового (до 2.3 мол. %) миналов. Гранат, как установлено Т.Я. Гуляевой [2] и подтверждено

данными исследованиями (табл. 3), иногда содержит Sn (SnO_2 до 2.17 % массы). Для многочисленных генераций этого минерала, различающихся по окраске и размерам кристаллов, при микрондовых исследованиях не выявлены отличия по составу. Это связано с особенностями структуры андрадита, препятствующими вхождению значительного количества Mn, Mg и Fe^{+2} . Гранат Белогорской залежи, изученный лишь в одном образце скарнированных алюмосиликатных (осадочных) пород, относится к гроссуляру, содержащему 17.5–24.8 мол. % андрадитового, 1.3–1.7 спессартинового и 0–2.6 мол. % альмандинового миналов. Гранат Скальной залежи по составу близок к этому минералу из марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади. Он относится к гроссуляр-спессартиновой разновидности, иногда обогащенной (до 24.3 мол. %) андрадитовым миналом (рис. 3 а, б).

Магнетит. Магнетит Белогорского месторождения по данным Т.Я. Гуляевой [3] иногда содержит изоморфную примесь Zn (2.00–4.16 % массы ZnO), присутствие которой подтверждено и данными исследованиями (табл. 4). Магнетит в марганцевосиликатных породах Широкопаднинской площади встречается редко и, как уже отмечалось выше, беден Mn. Большое количество этого минерала характерно для пластовых марганцевистых железных руд, подстилающих марганцевосиликатные породы.

Постепенное снижение температуры минералообразования приводило к разложению ранних, богатых Ca и Fe минералов (граната, пироксена, бустамита) с образованием куспидина, кальцита, флюорита, амфибола и т.д., а также к резкому увеличению количества магнетита, главным образом за счет железа, содержавшегося в андрадите Благодатной и Маргаритовской залежей (рис. 4). На фоне снижения температуры кристаллизации магнетита происходило возрастание в нем содержания якобитового минала (рис. 5, табл. 4). Наиболее ранний магнетит из полосчатых магнетит-гранатовых скарнов беден Mn (не более 5 мол. % якобита), по-видимому, из-за высокой температуры кристаллизации, препятствующей вхождению этого элемента в структуру минерала. Такое предположение подтверждается предельным содержанием якобитового минала в магнетите из высокотемпературных, богатых Mn (пирофанит-, родонит-, бустамит- и тефроитсодержащих) ассоциаций марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади, которое составляет лишь 3–5 мол. % [5]. Такое же низкое содержание Mn свойственно и магнетиту из высокотемпературных ассоциаций марганцевистых скарнов Скальной залежи (табл. 4, рис. 5). Наиболее поздний и наиболее богатый Mn

Таблица 3. Состав граната Белогорского месторождения (% массы).

| N | Образец | Точка | O | Mg | Al | Si | Ca | Ti | Mn | Fe | Sn | Сумма |
|----|----------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|--------|
| 1 | Б-79-14 | 4 | 41.22 | | 8.73 | 17.84 | 25.13 | 0.2 | 0.63 | 6 | | 99.55 |
| 2 | | 15 | 42.35 | | 9.64 | 18.13 | 25.19 | 0.48 | 0.43 | 5.22 | | 101.44 |
| 3 | Б-79-59 | 16 | 35.86 | | | 16.15 | 23.6 | | | 21.61 | | 97.22 |
| 4 | Б-79-55 | 3 | 36.11 | | 0.29 | 16.45 | 23.56 | | | 21.4 | | 97.8 |
| 5 | Б-79-74 | 7 | 36.21 | | | 16.99 | 23.65 | | 0.82 | 22.5 | | 100.18 |
| 6 | | 19 | 35.81 | | | 16.89 | 23.43 | | 1.08 | 22.5 | | 99.7 |
| 7 | | 22 | 35.45 | | | 16.71 | 23.9 | | 0.63 | 22.77 | | 99.46 |
| 8 | Б-79-25 | 11 | 36.62 | 0.2 | | 16.22 | 22.91 | | 0.78 | 21.4 | 0.64 | 98.76 |
| 9 | | 23 | 38.94 | 0.27 | 0.28 | 16.41 | 22.83 | | 0.78 | 21.32 | | 100.83 |
| 10 | | 29 | 37.42 | 0.23 | | 16.43 | 22.85 | | 0.77 | 22.38 | | 100.08 |
| 11 | | 35 | 37.02 | | | 16.47 | 23.25 | | 0.63 | 22.07 | | 99.43 |
| 12 | Б-79-43 | 11 | 36.36 | | 0.47 | 16.77 | 23.64 | | 0.53 | 21.41 | | 99.18 |
| 13 | | 19 | 36.3 | | 0.26 | 16.57 | 23.3 | | 0.53 | 22 | | 98.96 |
| 14 | | 9 | 37.11 | | | 17.17 | 24.22 | | 0.6 | 23.09 | | 102.18 |
| 15 | | 28 | 38.63 | | 0.47 | 17.28 | 24.91 | | 0 | 22.47 | | 103.76 |
| 16 | | 37 | 35.7 | | 0.18 | 16.18 | 23.25 | | 0.34 | 21.97 | | 97.63 |
| 17 | | 42 | 36.45 | | 0.33 | 16.55 | 23.32 | | 0.46 | 26.61 | 0.57 | 99.29 |
| 18 | | 2 | 37.45 | | | 17.24 | 24.07 | | 0.52 | 23.21 | 0.55 | 103.03 |
| 19 | Ш-86-146 | 6 | 40.64 | | 10.19 | 17.82 | 25.94 | 0.36 | 0.85 | 3.13 | | 98.92 |
| 20 | | 7 | 39.63 | | 8.84 | 17.72 | 23.54 | 0.33 | 2.85 | 6.06 | | 98.97 |
| 21 | | 8 | 39.05 | | 10.07 | 17 | 12.59 | 0.2 | 14.63 | 4.74 | | 98.27 |
| 22 | Шп-80-15 | 5 | 41.47 | | 11.18 | 17.24 | 3.13 | | 25.83 | 2.78 | | 101.63 |
| 23 | | 3 | 39.52 | | 11.13 | 17 | 5.9 | | 22.13 | 2.51 | | 97.57 |

Примечание. Залежи: Белогорская (1,2), Благодатная (3–7), Маргаритовская (8–18), Скальная (19–23).

Формулы: 1 – $(Ca_{2.95}Mn_{0.05})_{3.00}(Al_{1.52}Fe_{0.50})_{2.02}(Si_{2.96}Ti_{0.02})_{2.98}O_{12.11}$;

2 – $(Ca_{2.88}Mn_{0.04}Fe_{0.08})_{3.00}(Al_{1.64}Fe_{0.35}Ti_{0.01})_{2.00}(Si_{2.96}Ti_{0.04})_{3.00}O_{12.15}$; 3 – $Ca_{3.03}Fe_{2.00}Si_{2.97}O_{12}$;

4 – $Ca_{3.00}(Al_{0.05}Fe_{1.96})_{2.01}Si_{2.99}O_{11.52}$; 5 – $(Ca_{2.93}Mn_{0.07})_{3.00}Fe_{2.00}Si_{3.00}O_{11.23}$;

6 – $(Ca_{2.91}Mn_{0.10})_{3.01}Fe_{2.00}Si_{2.99}O_{11.13}$; 7 – $(Ca_{2.96}Mn_{0.06})_{3.02}Fe_{2.02}Si_{2.96}O_{11.01}$;

8 – $(Ca_{2.93}Mn_{0.07}Mg_{0.04})_{3.04}(Fe_{1.97}Sn_{0.03})_{2.00}Si_{2.96}O_{11.73}$; 9 – $(Ca_{2.90}Mn_{0.07}Mg_{0.06})_{3.03}(Fe_{1.94}Al_{0.05})_{1.99}Si_{2.98}O_{12.40}$;

10 – $(Ca_{2.89}Mn_{0.07}Mg_{0.05})_{3.01}Fe_{2.03}Si_{2.96}O_{11.85}$; 11 – $(Ca_{2.95}Mn_{0.06})_{3.01}Fe_{2.01}Si_{2.98}O_{11.76}$;

12 – $(Ca_{2.95}Mn_{0.05})_{3.00}(Al_{0.09}Fe_{1.92})_{2.01}Si_{2.99}O_{11.38}$; 13 – $(Ca_{2.93}Mn_{0.05}Fe_{0.02})_{3.00}(Al_{0.05}Fe_{1.97})_{2.02}Si_{2.98}O_{11.46}$;

14 – $(Ca_{2.95}Mn_{0.05})_{3.00}Fe_{2.02}Si_{2.98}O_{11.31}$; 15 – $Ca_{3.00}(Fe_{1.94}Al_{0.08})_{2.02}Si_{2.98}O_{12}$;

16 – $(Ca_{2.97}Mn_{0.03})_{3.00}(Fe_{2.01}Al_{0.03})_{2.04}Si_{2.95}O_{12}$; 17 – $(Ca_{2.94}Mn_{0.04}Fe_{0.02})_{3.00}(Fe_{1.93}Al_{0.06}Sn_{0.02})_{2.01}Si_{2.98}O_{11.51}$;

18 – $(Ca_{2.92}Mn_{0.05}Fe_{0.03})_{3.00}(Fe_{1.99}Sn_{0.02})_{2.01}Si_{2.99}O_{11.39}$; 19 – $(Ca_{2.98}Mn_{0.07})_{3.05}(Fe_{0.26}Al_{1.74})_{2.00}(Si_{2.92}Ti_{0.03})_{2.95}O_{11.69}$;

20 – $(Ca_{2.74}Mn_{0.24}Fe_{0.02})_{3.00}(Fe_{0.49}Al_{1.53})_{2.02}(Si_{2.95}Ti_{0.03})_{2.98}O_{11.69}$;

21 – $(Ca_{1.52}Mn_{1.29}Fe_{0.19})_{3.00}(Fe_{0.22}Al_{1.81})_{2.03}(Si_{2.95}Ti_{0.02})_{2.97}O_{11.85}$;

22 – $(Ca_{0.38}Mn_{2.31}Fe_{0.25})_{2.94}Al_{2.04}Si_{3.02}O_{12.75}$;

23 – $(Ca_{0.73}Mn_{2.00}Fe_{0.22})_{2.95}Al_{2.05}Si_{3.00}O_{12.25}$.

Здесь и далее: в столбце “точка” приведены номера точек анализа минералов на микроанализаторе; свободные клетки – элемент не обнаружен.

магнетит образует гнездообразные скопления мельчайших кристаллов в гранате или магнетите массивного облика Благодатной и Маргаритовской залежей (рис. 6).

Пироксены и пироксеноиды. Из минералов этой группы в залежах Белогорского месторождения встречаются клинопироксен, бустамит и родонит. Первые два минерала характерны для высокотемпературных ассоциаций, а родонит в ассоциации с карбонатом и манганактинолитом образовался при изменении скарнов за счет Mn ранних скарновых минералов [4, 18]. Пироксен обнаружен в Благодатной, Мар-

гаритовской и Скальной залежах. Во всех случаях он относится к диопсид-геденбергит-иогансеннитовой серии (табл. 5, рис. 7) и отличается непостоянным содержанием иогансеннитового минала в (16.9–23.9 мол. %). Чистые геденбергит и иогансеннит являются низкотемпературными полиморфными модификациями бустамита состава $CaFeSi_2O_6$ и $CaMnSi_2O_6$. Инверсия геденбергита изучена экспериментально Д. Линдсли, Д. Муноз [20], а также М. Рутштейном [21]. Инверсия иогансеннита рассмотрена К. Ламб и др. [19] и R. Angel [17]. При давлении 2 кбар температура инверсии геденбергита составляет 980 °C [21],

Таблица 4. Состав магнетита и ильменит-пирофанитового твердого раствора Белогорского месторождения (% массы).

| N | Образец | Точка | O | Na | Al | Mg | Si | Ca | Ti | Mn | Fe | Zn | Сумма |
|----|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|--------|
| 1 | Б-79-14 | 17 | 32.51 | | | | | | 32.11 | 18.61 | 18.9 | | 102.13 |
| 2 | Б-79-55 | 7 | 25.28 | | | | | | | 4.44 | 67.58 | | 97.3 |
| 3 | Б-79-74 | 9 | 23.83 | | | | | | | 1.17 | 71.87 | | 96.87 |
| 4 | Б-79-25 | 30 | 26.22 | | | | | 0.36 | | | 71.38 | | 97.96 |
| 5 | Б-79-43 | 13 | 25.64 | 0.33 | | 0.35 | 0.52 | 0.78 | | 6.18 | 65.8 | | 100.4 |
| 6 | | 4 | 25.8 | | | | 0.24 | 0.91 | | 7.83 | 64.88 | 1.22 | 100.89 |
| 7 | | 5 | 26.69 | | | 0.29 | 0.68 | 1.24 | | 7.98 | 64.02 | 1.12 | 102.01 |
| 8 | | 13 | 25.17 | | | | 0.75 | 1.28 | | 2.53 | 66.59 | | 96.32 |
| 9 | Ш-86-146 | 1 | 31.34 | | | | | 0.38 | 30.22 | 30.12 | 3.87 | | 95.93 |
| 10 | | 10 | 31.77 | | | | | 0.25 | 30.8 | 14.74 | 21.3 | | 98.96 |
| 11 | | 24 | 31.85 | | 3 | | | 0.59 | 30.43 | 20.09 | 14.62 | | 100.59 |
| 12 | | 27 | 31.9 | | 2.97 | | 0.21 | 0.59 | 29.96 | 20.26 | 14.63 | | 100.53 |
| 13 | | 30 | 32.25 | | | | | 0.18 | 30.68 | 14.78 | 20.91 | | 98.8 |
| 14 | | 48 | 33.91 | | 0.24 | | 2.14 | 3.42 | 29.21 | 9.77 | 22.47 | | 101.16 |
| 15 | | 2 | 31.18 | | | | 0.46 | 1.02 | 29.34 | 24.97 | 8.72 | | 96.35 |
| 16 | Ш-86-159 | 1 | 25.61 | | | | 1.47 | | | 0.55 | 69.24 | | 96.87 |
| 17 | Ш-86-151 | 9 | 25.84 | | | | 0.76 | 0.27 | | 0.3 | 70.84 | | 98.02 |

Примечание. Минералы: ильменит-пирофанит (1, 9–15), магнетит (2–8, 16, 17). Залежи: Белогорская (1), Благодатная (2, 3); Маргаритовская (4–8), Скальная (9–17).

Формулы: 1 – $(\text{Mn}_{0.50}\text{Fe}_{0.50})_{1.00}\text{Ti}_{1.00}\text{O}_{3.01}$; 2 – $(\text{Fe}_{0.81}\text{Mn}_{0.19})_{1.00}\text{Fe}_{2.00}\text{O}_{3.67}$; 3 – $(\text{Fe}_{0.95}\text{Mn}_{0.05})_{1.00}\text{Fe}_{2.00}\text{O}_{3.42}$;
 4 – $\text{FeFe}_2\text{O}_{3.85}$; 5 – $(\text{Fe}_{0.74}\text{Mn}_{0.26})_{1.00}\text{Fe}_2\text{O}_4$; 6 – $(\text{Fe}_{0.64}\text{Mn}_{0.32}\text{Zn}_{0.04})_{1.00}\text{Fe}_{2.00}\text{O}_{3.66}$; 7 – $(\text{Fe}_{0.63}\text{Mn}_{0.33}\text{Zn}_{0.04})_{1.00}\text{Fe}_{2.00}\text{O}_{3.82}$;
 8 – $(\text{Fe}_{0.89}\text{Mn}_{0.11})_{1.00}\text{Fe}_{2.00}\text{O}_{3.81}$; 9 – $(\text{Mn}_{0.88}\text{Fe}_{0.11})_{0.99}\text{Ti}_{1.01}\text{O}_{3.14}$; 10 – $(\text{Mn}_{0.42}\text{Fe}_{0.59})_{1.01}\text{Ti}_{0.99}\text{O}_{3.07}$;
 11 – $(\text{Mn}_{0.58}\text{Fe}_{0.41})_{0.99}(\text{TiO}_3)_{1.01}$; 12 – $(\text{Mn}_{0.59}\text{Fe}_{0.41})_{1.00}(\text{TiO}_3)_{1.00}$; 13 – $(\text{Mn}_{0.42}\text{Fe}_{0.58})_{1.00}\text{Ti}_{1.00}\text{O}_{4.17}$;
 14 – $(\text{Mn}_{0.30}\text{Fe}_{0.68})_{0.98}(\text{TiO}_3)_{1.02}$; 15 – $(\text{Mn}_{0.74}\text{Fe}_{0.26})_{1.00}(\text{TiO}_3)_{1.00}$; 16 – $(\text{Fe}_{0.98}\text{Mn}_{0.02})_{1.00}\text{Fe}_{2.00}\text{O}_{3.81}$;
 17 – $(\text{Fe}_{0.99}\text{Mn}_{0.01})_{1.00}\text{Fe}_{2.00}\text{O}_{3.80}$.

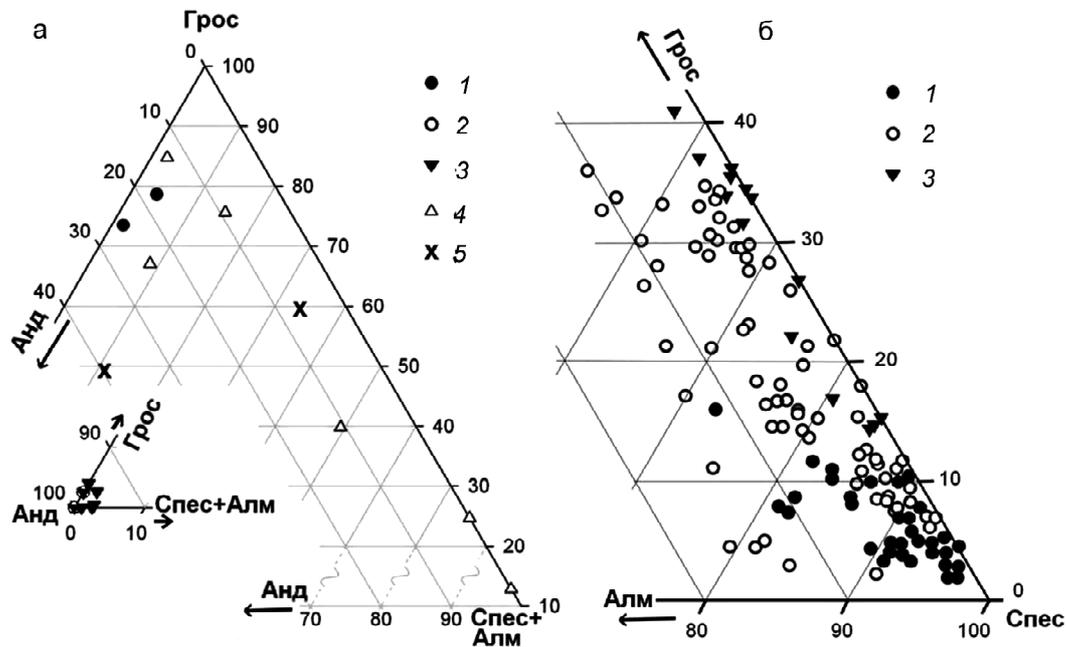


Рис. 3. Особенности состава граната Белогорского месторождения (а) и марганцевосиликатных пород южной части Сихотэ-Алиня (б).

а) 1 – Белогорская залежь, 2 – Благодатная залежь, 3 – Маргаритовская залежь, 4 – Скальная залежь, 5 – Широкопаднинская площадь. б) 1 – Горная площадь (Малиновский район), 2 – Широкопаднинская площадь (Ольгинский район), 3 – Садовая площадь (Дальнегорский район).

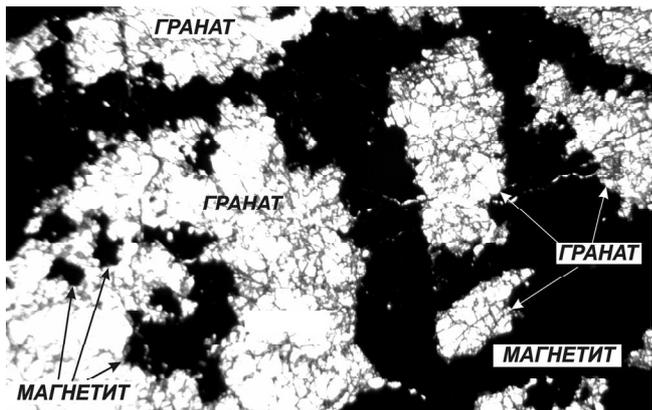


Рис. 4. Магнетит-гранатовая порода с признаками образования магнетита путем замещения граната.

Вид под бинокулярным микроскопом в проходящем свете, увеличение 6.3. Обр. Б-79-92, Благодатная залежь.

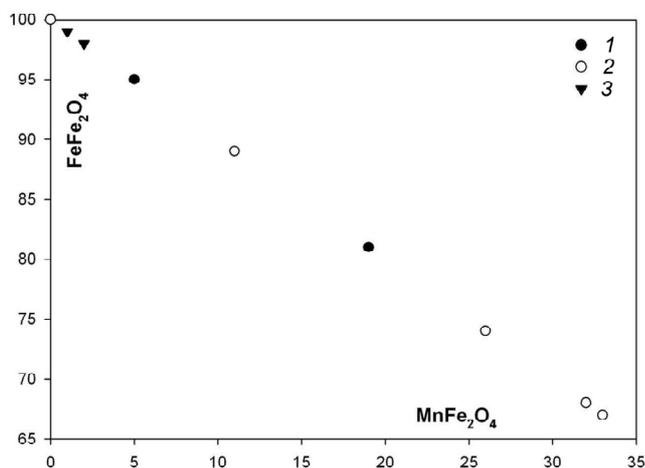


Рис. 5. Вариации содержания якобитового минала в магнетите Белогорского месторождения.

1 – Благодатная залежь, 2 – Маргаритовская залежь, 3 – Скальная залежь.

а иогансеннита – около 300 °С [17]. При температуре не выше 300 °С существует полная смесимость между геденбергитовым и иогансеннитовым миналами. Повышение температуры и увеличение количества диопсидового минала приводят к ограничению количества иогансеннитового минала в пироксене и появлению в ассоциации с ним бустамита. Относительно низкое содержание иогансеннитового минала в пироксене Белогорского месторождения (иногда почти не содержащего Mg) в присутствии богатого Mn бустамита указывает на высокую температуру кристаллизации, что хорошо согласуется с ранее опубликованными данными [5]. Клинопироксен Благодатной и, за редким исключением, Скальной залежей обогащен

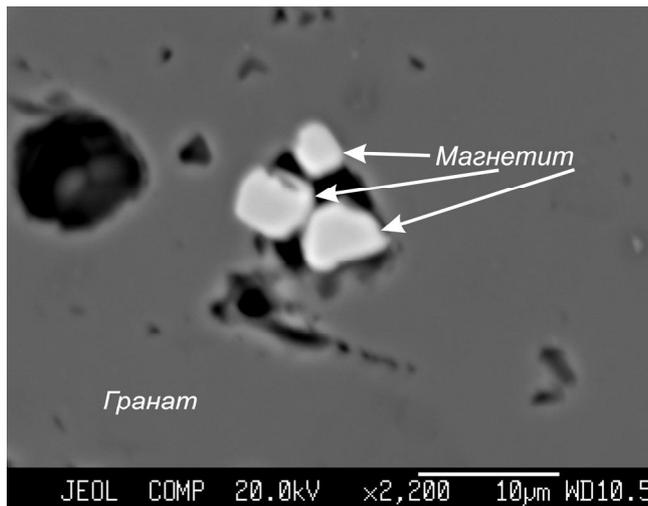


Рис. 6. Скопление мелких кристаллов марганцовистого Zn-содержащего магнетита в гранате (серое поле).

Вид в отраженных электронах. Обр. Б-79-43, Маргаритовская залежь.

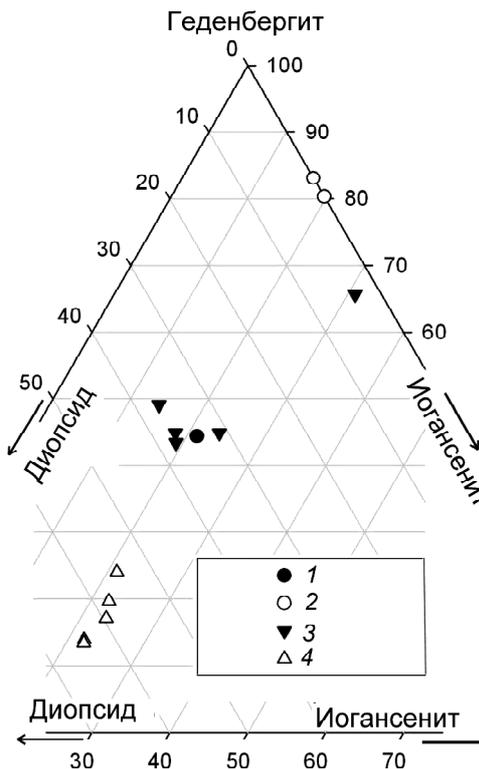


Рис. 7. Особенности состава клинопироксена из Белогорского месторождения и из марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади.

1 – Благодатная залежь, 2 – Маргаритовская залежь, 3 – Скальная залежь, 4 – марганцевосиликатные породы Широкопаднинской площади.

Таблица 5. Состав пироксена, бустамита, родонита и амфибола Белогорского месторождения (% массы).

| N | Образец | Точка | O | Na | Mg | Al | Si | K | Ca | Ti | Mn | Fe | Zn | Sn | Сумма |
|----|------------|-------|-------|-------|--------------------------------|------------------|-------|------------------|-------|------|-------|-------|------|----|--------|
| 1 | Б-79-3 | 6 | 37.56 | | 3.52 | | 23.88 | | 17 | | 4.9 | 10.32 | | | 97.18 |
| 2 | | 7 | 37.62 | | 3.76 | 1.14 | 23.74 | | 8.5 | | 1.86 | 19.65 | | | 96.27 |
| 3 | Б-79-43 | 2 | 38.87 | | | | 23.53 | | 26.37 | | 4.66 | 5.65 | | | 99.08 |
| 4 | | 17 | 38.24 | | | | 23.4 | | 26.47 | | 4.22 | 5.64 | | | 97.97 |
| 5 | | 20 | 37.67 | | | | 22.4 | | 16 | | 4.55 | 18.41 | 0.56 | | 99.59 |
| 6 | | 10 | 39.2 | | | | 24.56 | | 27.53 | | 4.02 | 6.68 | | | 101.99 |
| 7 | | 9 | 36.2 | | | | 22.24 | | 16.02 | | 3.79 | 18.8 | | | 97.04 |
| 8 | | 11 | 37.95 | | | | 23.56 | | 26.39 | | 4.22 | 6.02 | | | 98.14 |
| 9 | III-86-159 | 20 | 38.67 | | 1.18 | | 22.79 | | 2.3 | | 9.65 | 23.6 | | | 98.2 |
| 10 | | 23 | 37.04 | | | | 22.01 | | 9.98 | | 19.02 | 9.77 | | | 97.83 |
| 11 | | 25 | 39.75 | | 3.69 | | 23.45 | | 16.86 | | 4.11 | 10.09 | | | 97.94 |
| 12 | | 26 | 36.73 | | | | 21.73 | | 10.47 | | 19.36 | 8.65 | | | 96.46 |
| 13 | | 30 | 36.09 | | | | 21.79 | | 12.84 | | 18.15 | 7.08 | | | 95.96 |
| 14 | III-86-151 | 7 | 38.1 | | 3.82 | | 24.03 | | 16.62 | | 4.31 | 10.01 | | | 96.9 |
| 15 | | 8 | 37.06 | 0.4 | 3.67 | 1.52 | 24.16 | 0.19 | 7.7 | | 1.75 | 18.2 | | | 94.66 |
| 16 | | 29 | 40.01 | | 4.11 | | 25.03 | | 14.9 | | 3.52 | 12.61 | 0.4 | | 100.57 |
| 17 | | 33 | 37.32 | | 4.63 | 0.26 | 24.6 | | 7.99 | | 2.9 | 17.75 | | | 95.46 |
| N | Образец | Точка | | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | TiO ₂ | MnO | FeO | | | | | Сумма |
| 18 | Б-79-77 | 1* | | 1.21 | | 45.59 | 6.12 | | 39.97 | 4.38 | | | | | 97.27 |
| 19 | | 2* | | 17.60 | 0.13 | 55.28 | 11.09 | 0.01 | 6.30 | 7.06 | | | | | 97.47 |
| 20 | Б-79-2 | 1* | | 0.86 | 0.03 | 47.29 | 5.92 | | 39.90 | 3.43 | | | | | 97.43 |
| 21 | | 2* | | 14.65 | 0.56 | 54.75 | 11.97 | | 5.67 | 9.49 | | | | | 97.08 |

Примечание. Залежи: Благодатная (1, 2, 18–21), Маргаритовская (3–8), Скальная (9–17). Минералы: пироксен (1, 5, 7, 11, 14, 16), бустамит (3, 4, 6, 8, 10, 12, 13), родонит (18, 20) манганактинолит (2, 15, 17, 19, 21), мангантрионит (9). Формулы: 1 – Ca_{1.00}(Fe_{0.44}Mg_{0.34}Mn_{0.21})_{0.99}Si_{2.01}O_{5.55};

2 – (Ca_{1.94}Mn_{0.06})_{2.00}(Fe_{3.22}Mg_{1.41}Mn_{0.25}Al_{0.12})_{5.00}(Si_{7.73}Al_{0.27}Fe_{0.22}OH)₂; 3 – (Ca_{0.78}Mn_{0.10}Fe_{0.12})_{1.00}Si_{1.00}O_{2.89}; 4 – (Ca_{0.79}Mn_{0.09}Fe_{0.12})_{1.00}Si_{1.00}O_{2.86};

5 – (Ca_{0.99}Mn_{0.01})_{1.00}(Mn_{0.19}Fe_{0.82}Sn_{0.01})_{1.02}Si_{1.98}O_{5.83}; 6 – (Ca_{0.80}Mn_{0.08}Fe_{0.14})_{1.02}Si_{0.98}O_{2.84}; 7 – Ca_{1.00}(Mn_{0.17}Fe_{0.84})_{1.01}Si_{1.99}O_{5.67};

8 – (Ca_{0.78}Mn_{0.09}Fe_{0.13})_{1.00}Si_{1.00}O_{2.82}; 9 – (Ca_{0.57}Mn_{1.74}Fe_{4.18}Mg_{0.48}Fe_{0.97}Si_{8.03}O_{22.00}(OH))_{1.92}; 10 – (Ca_{0.32}Mn_{0.45}Fe_{0.23})_{1.00}Si_{1.00}O_{2.98};

11 – Ca_{1.01}(Fe_{0.44}Mg_{0.36}Mn_{0.18})_{0.98}Si_{2.01}O_{5.97}; 12 – (Ca_{0.34}Mn_{0.46}Fe_{0.20})_{1.00}Si_{1.00}O_{2.98}; 13 – (Ca_{0.41}Mn_{0.43}Fe_{0.16})_{1.00}Si_{1.00}O_{2.90};

14 – (Ca_{0.98}Mn_{0.02})_{1.00}(Fe_{0.43}Mg_{0.37}Mn_{0.17})_{0.97}Si_{2.03}O_{5.65}; 15 – (Ca_{1.76}Na_{0.16}K_{0.04}Mn_{0.04})_{1.00}(Fe_{2.98}Mg_{1.38}Mn_{0.25}Al_{0.52})_{5.00}(Si_{7.87}Al_{0.13})_{8.00}O_{21.18};

16 – (Ca_{0.86}Mn_{0.07})_{0.93}(Fe_{0.52}Mg_{0.39}Zn_{0.01}Mn_{0.08})_{1.00}Si_{2.06}O₆; 17 – (Ca_{1.82}Mn_{0.18})_{2.00}(Fe_{2.90}Mg_{1.73}Mn_{0.30}Al_{0.09})_{5.00}(Si_{7.98}Al_{0.02})_{8.00}O_{21.26};

18 – (Mn_{0.74}Ca_{0.14}Fe_{0.08}Mg_{0.04})_{1.00}(SiO₃)_{1.00}; 19 – (Ca_{1.70}Mn_{0.30})_{2.00}(Mg_{3.76}Mn_{0.47}Fe_{0.84})_{5.07}(Si_{7.91}Al_{0.02})_{7.93}O₂₂(OH)₂; 20 – (Mn_{0.74}Ca_{0.14}Fe_{0.06}Mg_{0.03})_{0.97}(SiO₃)_{1.03};

21 – (Ca_{1.87}Mn_{0.13})_{2.00}(Mg_{3.19}Mn_{0.57}Fe_{1.16}Al_{0.08})_{5.00}(Si_{7.99}Al_{0.02})_{8.01}O₂₂(OH)₂. * – [1].

диопсидовым (31.2–37.4 мол. %) и относительно беден геденбергитовым (43.3–49.1, редко 65.6) миналами. Для Маргаритовской залежи характерны разновидности, совсем не содержащие Mg. Клинопироксен Белогорского месторождения при примерно одинаковом, в целом, содержании иогансеннитового минала отличается от этого минерала Широкопаднинской площади более высокой железистостью (рис. 7). Бустамит совместно с клинопироксеном встречается в Маргаритовской и Скальной залежах. В первом случае он представлен очень богатой Ca и бедной Mn разновидностью, близкой по составу к волластониту (табл. 5). Бустамит Скальной залежи, напротив, относится к богатой Mn и наиболее бедной Ca разновидности

и близок по составу к этому минералу Широкопаднинской площади. Фазовые отношения бустамита и клинопироксена Белогорского месторождения показаны на рис. 8а. Парагенезисы Белогорского месторождения в химической системе “(Fe,Mg)SiO₃–CaSiO₃–MnSiO₃” дополняют парагенезисы пироксенов и пироксеноидов Широкопаднинской площади (рис. 8б), располагаясь в области более высокой кальциевости и низкой марганцевости.

Ильменит-пирофанитовый твердый раствор и другие минералы титана. Ильменит-пирофанитовый твердый раствор встречается в высокотемпературных ассоциациях Белогорской и Скальной залежей в виде рассеянных удлинённых таблитчатых или столбчатых кристаллов. В Белогорской залежи этот минерал, по результатам одного анализа, содержит равное количество ильменитового и пирофанитового миналов (табл. 4). В Скальной залежи его состав близок к составу пирофанита из марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади (6–44 мол. % FeTiO₃), но изменяется в более широких пределах – от почти “чистого” пирофанита (88.9 мол. % MnTiO₃) до обогащенного Mn ильменита (69.4 мол. % FeTiO₃). Из других титановых минералов в Скальной залежи изредка встречаются перовскит Ca_{1.02}(Ti_{0.95}Fe_{0.01}Al_{0.02})O_{3.19}, титанит Ca_{1.03}(Ti_{0.86}Al_{0.11})_{0.97}Si_{1.00}O₄(O,OH) и рутил (Ti_{0.98}V_{0.008}Sc_{0.005}Zr_{0.007})O₂.

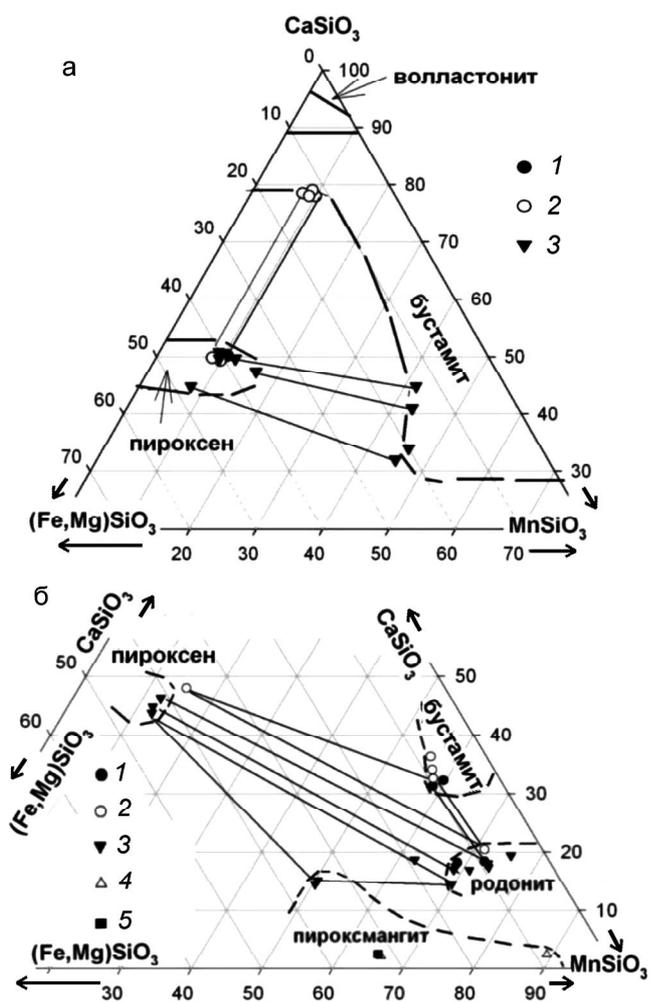


Рис. 8. Фазовые взаимоотношения пироксенов и пироксеноидов Белогорского месторождения (а) и марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади (б).

а) 1 – Благодатная залежь, 2 – Маргаритовская залежь, 3 – Скальная залежь. б) 1 – обр. Ф-80-1; 2 – обр. Ф-79-13; 3 – обр. Ф-80-5; 4 – обр. Ш-86-58; 5 – обр. Ш-86-59.

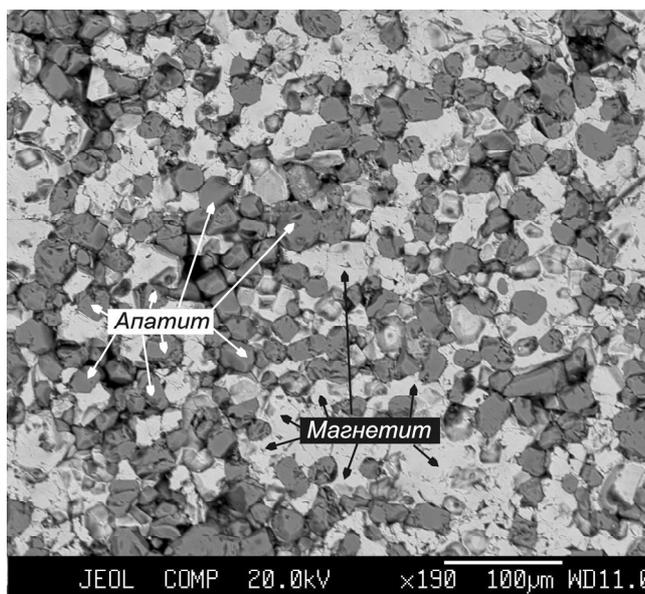


Рис. 9. Апатит -магнетитовая руда.

Светло-серые участки – магнетит, серые – апатит. Вид в отраженных электронах. Обр. Б-79, Благодатная залежь.

Таблица 6. Состав апатита и карбоната Белогорского месторождения (% массы).

| № | Образец | Точка | O | F | Mg | Si | P | Ca | Sc | Mn | Fe | As | Сумма |
|----|----------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|--------|
| 1 | Б-79-14 | 7 | 32.08 | | | 1.17 | | 38.16 | | 2.99 | 1.65 | | 76.06 |
| 2 | | 16 | 31.18 | | | | | 36.3 | | 3.68 | 0.99 | | 72.15 |
| 3 | Б-79-74 | 8 | 46.48 | | | 0.16 | | 38.07 | | 2.51 | 0.84 | | 88.07 |
| 4 | Б-79-3 | 27 | 32.42 | 7.25 | | | 19.01 | 38.89 | | | | | 97.57 |
| 5 | Б-79-25 | 47 | 37.55 | 5.12 | | | 17.06 | 38.63 | | | | 2.58 | 100.95 |
| 6 | | 48 | 36.28 | 5.32 | | | 18.22 | 39.05 | | | | 1.32 | 100.2 |
| 7 | | 49 | 37.43 | 4.84 | | 0.23 | 17.14 | 38.64 | | | | 2.65 | 100.92 |
| 8 | Б-79-43 | 29 | 41.64 | | | | | 40.68 | | 0.97 | 0.39 | | 83.68 |
| 9 | Ш-86-146 | 34 | 33.58 | | | | | 37.33 | | 2.35 | 0.6 | | 73.86 |
| 10 | Ш-86-151 | 13 | 32.78 | | 0.21 | | | 32.68 | | 6.15 | 1.21 | | 73.03 |
| 11 | | 20 | 32.94 | 6.07 | | 1 | 18.98 | 39.17 | | | 0.31 | | 98.47 |
| 12 | | 75 | 35.3 | 5.68 | | | 18.91 | 38.67 | 0.51 | | 0.39 | | 99.46 |

Примечание. Залежи: Белогорская (1, 2), Благодатная (3, 4), Маргаритовская (5–8), Скальная (9–12). Минералы: карбонат (1–3, 8–10), апатит (4–7, 11–12). Формулы: 1 – $(\text{Ca}_{0.92}\text{Mn}_{0.05}\text{Fe}_{0.03})_{1.00}\text{CO}_3$; 2 – $(\text{Ca}_{0.91}\text{Mn}_{0.07}\text{Fe}_{0.02})_{1.00}\text{CO}_3$; 3 – $(\text{Ca}_{0.94}\text{Mn}_{0.05}\text{Fe}_{0.01})_{1.00}\text{CO}_3$; 4 – $\text{Ca}_{4.90}(\text{PO}_4)_{3.10}\text{F}_{1.93}$; 5 – $\text{Ca}_{4.98}[(\text{PO}_4)_{2.84}(\text{AsO}_4)_{0.18}]_{3.02}\text{F}_{1.39}$; 6 – $\text{Ca}_{4.93}[(\text{PO}_4)_{2.98}(\text{AsO}_4)_{0.09}]_{3.07}\text{F}_{1.42}$; 7 – $\text{Ca}_{4.97}[(\text{PO}_4)_{2.85}(\text{AsO}_4)_{0.18}]_{3.03}\text{F}_{1.31}$; 8 – $(\text{Ca}_{0.97}\text{Mn}_{0.02}\text{Fe}_{0.01})_{1.00}\text{CO}_3$; 9 – $(\text{Ca}_{0.93}\text{Mn}_{0.06}\text{Fe}_{1.00})_{1.00}\text{CO}_2.09$; 10 – $(\text{Ca}_{0.85}\text{Mn}_{0.12}\text{Fe}_{0.02}\text{Mg}_{0.01})_{1.00}\text{CO}_2.14$; 11 – $(\text{Ca}_{4.90}\text{Fe}_{0.03})_{4.93}(\text{PO}_4)_{3.07}\text{F}_{1.60}$; 12 – $(\text{Ca}_{4.85}\text{Sc}_{0.06}\text{Fe}_{0.03})_{4.94}(\text{PO}_4)_{3.06}\text{F}_{1.50}$. Значительные вариации сумм в анализах карбоната связаны с ошибками в определении содержания кислорода.

Апатит. Апатит, наряду с гранатом, магнетитом, пироксеном, бустамитом, карбонатом и флюоритом, относится к числу главных минералов Благодатной, Маргаритовской и, очевидно, Белогорской залежей. Встречается во всех упомянутых выше разновидностях скарнов и нередко слагает до 30–40 % объема породы (рис. 9). Во всех залежах, так же как и в марганцевосиликатных породах Широкопаднинской площади, этот минерал представлен богатой F разновидностью, количество которого в анализах обычно значительно превышает нормативное. В Маргаритовской залежи встречается необычная разновидность апатита, обогащенная As, количество которого достигает 2.65 % массы (или 0.18 ф.е.) (табл. 6). В данном случае As присутствует, очевидно, в виде группы $(\text{AsO}_4)^{3-}$, заместившей группу $(\text{PO}_4)^{3-}$ в структуре минерала. Апатит Скальной залежи иногда содержит примесь Sc.

Аксинит. Этот минерал на Белогорском месторождении и в марганцевосиликатных породах Широкопаднинской площади встречается относительно редко и представлен богатой Mn разновидностью. В обоих случаях он имеет почти одинаковый состав, отвечающий формулам $(\text{Ca}_{1.79}\text{Mn}_{0.21})_{2.00}(\text{Mn}_{0.74}\text{Fe}_{0.20})_{0.94}\text{Al}_{2.05}\text{BSi}_{4.01}\text{O}_{15}(\text{OH})$ и $(\text{Ca}_{1.75}\text{Mn}_{0.25})_{2.00}(\text{Mn}_{0.70}\text{Fe}_{0.20})_{0.96}\text{Al}_{2.04}\text{BSi}_{3.99}\text{O}_{15}(\text{OH})$, соответственно. На Белогорском месторождении аксинит обнаружен только в Скальной залежи.

Карбонат присутствует в составе средне-низкотемпературных образований всех залежей Белогорского месторождения. Он представлен кальцитом с небольшим количеством родохрозитового, сидерито-

вого и, в единичных случаях, магнезитового миналов (табл. 6). Наиболее богат Mn карбонат Скальной залежи (до 12 мол. % родохрозитового минала). В марганцевосиликатных породах Широкопаднинской площади наряду с манганкальцитом иногда встречается родохрозит.

Амфиболы относятся к тремолит-ферроактинолитовому ряду и обогащены Mn. Для Благодатной залежи характерна ассоциация богатого Mn (6.3–5.67 % массы MnO) высокомагнезиального амфибола тремолит-ферроактинолитового ряда с бедным железом родонитом, отличающимся невысокой, несмотря на присутствие в ассоциации кальцита, кальциевостью. Эти минералы присутствуют в виде крупных кристаллов и образуют тесные сростания друг с другом (табл. 5, анализы 18–21). Они слагают равновесную амфибол-родонитовую (\pm карбонат) ассоциацию. Вместе с тем нередко можно наблюдать развитие по родониту мелких игольчатых кристаллов амфибола. Это обстоятельство, по-видимому, отражает некоторое непостоянство условий формирования парагенезиса и, в частности, понижение температуры. Родонит и амфибол иногда содержат редкие включения мелких кристаллов более позднего граната. В Благодатной и Скальной залежах амфибол тремолит-ферроактинолитового ряда отмечался также в качестве продукта замещения клинопироксена. В этом случае он значительно беднее Mn и богаче Fe (табл. 5, анализы 2, 15, 17). В Скальной залежи изредка встречается амфибол куммингтонит-грюнеритового ряда, представленный богатой Mn и Fe разновидностью. В

марганцевосиликатных породах Широкопаднинской площади, так же как и в скарновых залежах Белогорского месторождения, наиболее распространен манганактинолит, но иногда встречаются и богатые Mn магнезиальные и железистые разновидности амфибола куммингтонит-грюнеритового ряда.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Как было отмечено выше, наиболее ранние и высокотемпературные образования главных залежей Белогорского месторождения представлены массивными гранатовыми и “бурундучными” магнетит-гранатовыми скарнами, которые несут в себе многочисленные следы средне-низкотемпературных преобразований, главной особенностью которых было замещение граната магнетитом с образованием в наиболее переработанных участках блоков существенно магнетитового состава. К участкам преобразования таких скарнов приурочены карбонатные гнезда с флюоритом, родонитом, манганактинолитом и сфалеритом. Количество гнезд, их размеры, степень кристалличности слагающих их минералов находятся в прямой зависимости от степени замещения граната магнетитом в окружающих скарнах. Это свидетельствует о том, что замещение граната магнетитом и образование карбонатных гнезд вместе с присутствующими в их составе флюоритом, родонитом, манганактинолитом, сфалеритом и другими минералами являются взаимосвязанными проявлениями процесса преобразования скарнов. Главной особенностью этого процесса являлось разложение граната и высвобождение Fe, Ca, Si, Mn, Sn и Zn (вследствие разложения клинопироксена). Железо и Sn почти полностью фиксировались на месте в виде магнетита и касситерита. Кальций, Mn и Zn испытывали лишь локальные перемещения и в различных минеральных формах отлагались в составе карбонатных гнезд. Основное количество Ca осаждалось в карбонатной форме и в виде флюорита, Mn совместно с Ca и Si фиксировался в качестве родонита и манганактинолита, а Zn отлагался в составе сфалерита. Присутствие карбонатных гнезд в магнетитовых блоках компенсирует дефицит объема, возникающий при замещении граната магнетитом и находится в соответствии с принципом постоянства объема при метасоматических процессах [13, 14]. Вследствие инертного поведения большинства элементов в процессе преобразования залежей количественное соотношение Ca, Mn и Zn в карбонатных гнездах примерно отвечает соотношению этих элементов в первичных скарнах, что выражается в

резком преобладании кальциевых минералов над марганцевыми минералами и сфалеритом.

Особенности строения карбонатных гнезд приводят к представлениям о длительном времени их формирования в условиях флуктуации значений некоторых физико-химических параметров. Об этом свидетельствует присутствие в гнездах двух явно разновременных типов граната – крупнокристаллического (до 3–5 см) и мелкокристаллического (1–3 мм). Отложение карбоната, по-видимому, неоднократно сменялось отложением флюорита, так как последний минерал слагает среди карбоната крупные мономинеральные участки. Это обстоятельство, очевидно, можно объяснить вариациями соотношения активностей CO_2 и F в гидротермальных растворах. Перекристаллизация скарнов с разложением граната и образованием карбонатных гнезд на отдельных участках на короткий срок и, по-видимому, неоднократно сменялась циркуляцией скарнирующих растворов и образованием граната по карбонату. Об этом свидетельствует наличие среди крупнокристаллического карбоната редких, закономерно распределенных агрегатов мелкокристаллического граната и замещение им родонита и манганактинолита. Но в целом образование граната по карбонату в процессе формирования карбонатных гнезд играло подчиненную роль. Закономерная смена образования скарнов их замещением магнетитом и богатыми летучими компонентами минералами связана не столько с изменением состава растворов, сколько с постепенным снижением, в целом, температуры во времени, которое в минералогическом отношении создавало эффект возрастания активностей летучих компонентов (F, CO_2 , H_2O).

Сопоставление минералогии Белогорского месторождения и марганцевосиликатных пород Широкопаднинской площади дает дополнительные свидетельства существования генетической связи триасовых контактово-метаморфизованных металлоносных осадков (как источника вещества) и скарновых и жильных месторождений южной части Сихотэ-Алиня. К ним относятся сходство по набору и составам породобразующих минералов, выражающееся, в частности, в присутствии в скарнах таких богатых Mn минералов, как родонит, бустамит, спессартин и пирофанит, а также в распространении марганцевистых разновидностей пироксена, амфиболов тремолит-ферроактинолитового и куммингтонит-грюнеритового изоморфных рядов и манганаксинита. Результаты изучения минералогии второстепенных элементов, которым предполагается посвятить отдельную статью, свидетельствуют о сходстве рудной минерализации в скарнах и в марганцевосиликатных поро-

дах (табл. 7), выражающемся, в частности, в присутствии минералов Au, Ag, Pt и Pd [11], распространении необычных (с Cu, Ni, Co, Zn и Pb) разновидностей самородного Au и т.н. “медистого Au” (рис. 10).

Результаты гидротермальной деятельности в марганцевосиликатных и кремнисто-родохрозитовых породах хорошо фиксируются визуально в виде линейно-вытянутых штокверкоподобных зон, сложенных кварцем и силикатами марганца и образовавшихся в местах пересечения марганценосных горизонтов системами трещин. Особенности гидро-

термального процесса в таких случаях являлось окварцевание пластовых марганцевых тел вдоль систем трещин и перераспределение марганца и рудных элементов во вмещающие кремни. При этом, заметного привноса вещества, которое можно было бы связать с гранитоидами, не отмечается, за исключением единственного случая развития наложенной бериллиевой (гельвиновой) минерализации в марганцевосиликатных породах Малиновского рудного района [6]. Нет никаких оснований связывать и скарны с гранитоидами, как с источниками рудных элементов.

Таблица 7. Второстепенные минералы в марганцевосиликатных породах Широкопаднинской площади и в залежах Белогорского месторождения.

| Широкопаднинская площадь | | | Белогорское месторождение | |
|--------------------------|------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| циркон | станнин | $Fe_{35}Mo_{0.65}$ | циркон | леллингит |
| монацит | халькопирит | $FeMo$ | бадделеит | гудмундит |
| торианит | Cu_3S_2 | $Fe_{0.55}Mo_{0.45}$ | монацит | арсенопирит |
| уранинит | сфалерит | Fe_4Mo_3 | $InPO_4$ | пирит |
| алланит | галенит | Fe_3Mo_2 | оксид Y и REE | станнин |
| шеелит | Fe_3P | $CuPb$ | торианит | сфалерит |
| вольфрамит | Fe_4P | $CuSn$ | торит | галенит |
| касситерит | Fe_5P | Cu_3Sn_2 | алланит | <i>лафоссаит</i> |
| молибденит | $(La,Ce,Nd)Si_2$ | Cu_3Sn | барит | <i>бисмит</i> |
| кобальтингерсдорфит | вольфрам | $Cu-Sn$ | санборнит | <i>бисмутит</i> |
| ульманит | молибден | $Cu_5(Sn,Pb)_4$ | шеелит | <i>добреит</i> |
| $(Co,Ni)(As,Sb)S$ | олово | $PbSn_3$ | повеллит | вольфрам |
| пентландит | никель | $PbSn_4$ | шеелит-повеллит | висмут |
| никелин | железо | $Cu-Sn-Pb$ | вольфрамит | олово |
| миллерит | висмут | Cu_7Zn_3 | касситерит | медь |
| $Ni_2(Te,Sb,As)_3$ | сурьма | $(Cu,Ni)_2Zn$ | молибденит | свинец |
| брейтгауптит | медь | $(Cu,Ni)_8Zn_3$ | кобальтингерсдорфит | теллур |
| никелин-брейтгауптит | цинк | $Ni-Cu-Zn$ | ульманит | железо |
| имгрэит | свинец | Cu_3Zn_2 | Ni_2As_3 | сурьма |
| $Ni_3(Te,Sb,As)_4$ | селен | Cu_4Ni | никелин | никель |
| алтаит | графит | $Cu_{11}Ni_3$ | колорадоит | цинк |
| цумоит | Co_3Cr | $NiCuSn$ | киноварь | Ni_5Fe |
| висмутин | Fe_2Ce | $Sn-Ni-Cu$ | висмутин | Ni_2Cr |
| стибнит | Fe_2Cr | $Pb(Sb,Sn)$ | теллуrowисмутит | $Fe_2NiAs_6(?)$ |
| барит | Fe_4Cr | $Hg_2(Tl,Pb)$ | жозеит | Ni_6P |
| баритоцелестин | Fe_5Cr | $PbBi$ | гладит | Hg_2Tl |
| таусонит | $(Fe,Ni)_5Cr$ | $Pb-Bi$ | козалит (?) | $(Fe,Mn,Ni,Cr)(Ti,Al,Zr,V)$ |
| тетраэдрит | $(Fe,Ni)_7Cr$ | $Bi_2(Pb,Sn,Cd)_3$ | хедлейит | Fe_5Ce |
| буланжерит | $FeMo_2$ | минералы Au, Ag и PGE | Bi_4Te | Cu_6Sn |
| жемсонит | Fe_4Mo_7 | | Bi_5Te | Cu_7Sn |
| леллингит | Fe_2Mo_3 | | Bi_6Te | $Cu_3(Zn,Pb,Sn)_2$ |
| арсенопирит | $Fe_2(Cu,Mo)_3$ | | стибнит | Cu_5Sn |
| пирротин | Fe_3Mo_4 | | тетраэдрит | $CuPb(Ni,Zn)$ |
| пирит | Fe_5Mo_6 | | бурнонит | минералы Au, Ag и PGE |
| | | | гетероморфит | |

Примечание. Жирным шрифтом выделены самородные элементы и интерметаллиды, курсивом – экзогенные минералы.

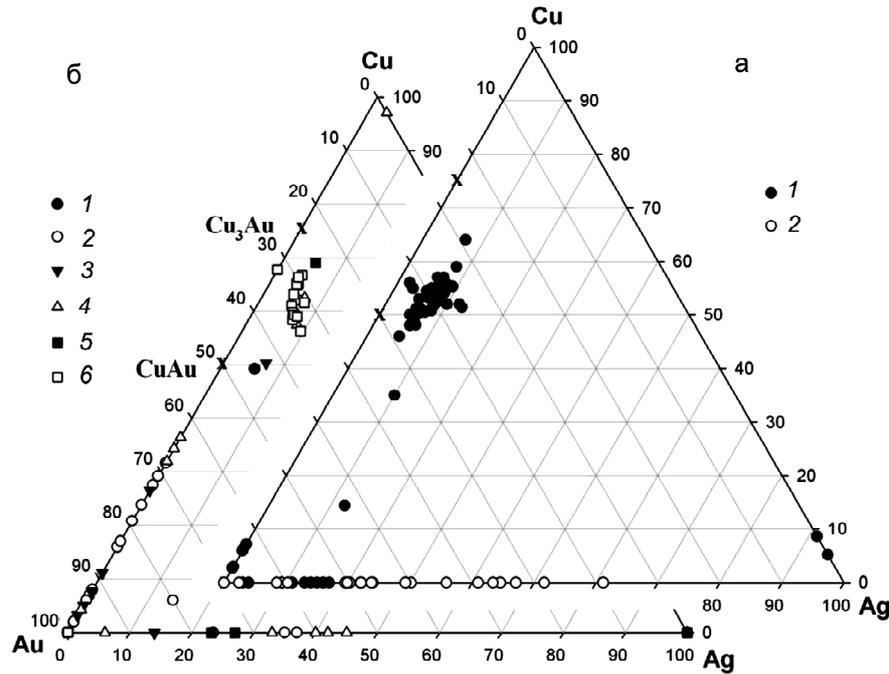


Рис. 10. Особенности состава минералов системы “Au–Cu–Ag” в метаморфизованных металлоносных осадках триасовой кремневой формации Сихотэ-Алиня (а) и в скарновых месторождениях Ольгинского и Дальнегорского рудных районов (б).

а) 1 – точки состава мелких (до 10 мкм) зерен, приуроченных к порам и микротрещинам с органикой; 2 – точки состава относительно крупных зерен, выделенных растворением проб в плавиковой кислоте. б) 1 – Белогорская залежь, 2 – Благодатная залежь, 3 – Маргаритовская залежь, 4 – Скальная залежь, 5 – Боросиликатное месторождение, 6 – Садовое месторождение.

Крестиками показано положение теоретических составов купроаурида и аурикуприда.

Это следует из имеющихся у авторов материалов геохимического изучения скарнов, марганцевосиликатных пород и гранитоидов южной части Сихотэ-Алиня, которые предполагается обсудить в отдельной публикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, важной особенностью процесса формирования залежей Белогорского месторождения являлось интенсивное преобразование ранних минеральных ассоциаций с понижением температуры, выразившееся в разложении граната, пироксена и пироксеноидов, увеличении количества магнетита за счет Fe этих минералов и в образовании кварца и богатых летучими компонентами соединений (кальцита, флюорита, амфибола и сульфидов). Залежи Белогорского месторождения и пластовые тела марганцевосиликатных пород сопредельной Широкопаднинской площади, вследствие наличия между ними генетической связи, имеют общие геохимические особенности, которые, из-за близости температурных условий кристаллизации (в контактовом ореоле гранитоидной интрузии), проявились и в сходстве минерального состава.

В настоящее время на основании имеющегося материала возможны две точки зрения на природу предполагаемой генетической связи триасовых металлоносных осадков и скарновых залежей Белогорского месторождения. Наиболее ранние и высокотемпературные образования этих залежей являются, возможно, классическими скарнами, обогащенными Mn и другими металлами, заимствованными растворами из залегающих в триасовых силицитах метаморфизованных металлоносных осадков и, в том числе, из марганцевых пород. С другой стороны, многие факты склоняют к представлениям об образовании Белогорского месторождения в его нынешнем виде в результате метаморфизма и гидротермальной переработки *на месте* триасовых металлоносных отложений, залегавших на рифогенных известняках. К таким фактам относятся текстурные особенности наиболее ранних и высокотемпературных образований и присутствие в них минералов Ti, Ba и Zr, отсутствие типичной для скарнов метасоматической зональности, обогащение залежей P, одинаковые особенности Th-U и редкоземельной минерализации в марганцевосиликатных породах Широкопаднинс-

кой площади и в залежах Белогорского месторождения. Об этом же свидетельствует и присутствие в залежах Белогорского месторождения, так же как и в метаморфизованных металлоносных осадках Широкопаднинской площади, предельно восстановленных форм металлов (преимущественно в порах и микротрещинах с органическим веществом) (табл. 7), температура кристаллизации которых (судя по уровню содержания некоторых примесей в самородных металлах) соответствует условиям контактового метаморфизма.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и Президиума ДВО РАН (проекты № 09-05-98610 и № 11-III-B-08-192).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляева Т.Я., Щека С.А. Микронеоднородности редких разновидностей магнетита и их генетическое значение // Минералы – индикаторы петрогенезиса. Владивосток, 1980. С. 62–68.
2. Гуляева Т.Я. Оловосодержащий андрадит Белогорского месторождения (Приморье) // Тихоокеан. геология. 1982. № 5. С. 110–113.
3. Гуляева Т.Я., Щека С.А. О редкой Zn-Mg-марганцевой разновидности магнетита // ДАН СССР. 1982. Т. 267, № 6. С. 1448–1453.
4. Казаченко В.Т., Сапин В.И. Минералогия и генезис железо-марганцевого оруденения Прибрежной зоны Приморья. Владивосток, 1990. 246 с.
5. Казаченко В.Т. Петрология и минералогия гидротермальных марганцевых пород Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2002. 250 с.
6. Казаченко В.Т., Чубаров В.М., Соляник В.А., Нарнов Г.А. Бериллийсодержащие марганцевые породы Центрального Сихотэ-Алиня // Докл. РАН. 2005. Т. 400, № 6. С. 1–4.
7. 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 // ДАН. 2006. Т. 410, № 1. С. 75–82.
8. Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., Перевозникова Е.В. и др. Галлий, золото и платиноиды в марганцевых породах южной части Сихотэ-Алиня // Докл. РАН. 2006. Т. 407, № 4. С. 516–520.
9. Казаченко В.Т., Перевозникова Е.В., Мирошниченко Н.В. и др. Металлоносные отложения триасовой кремневой формации в Ольгинском рудном районе Приморья – оловянно-благороднометалльные руды нового генетического типа // Докл. АН. 2006. Т.409, № 3. С. 360–374.
10. Казаченко В.Т., Перевозникова Е.В., Мирошниченко Н.В. и др. Золото и платиноиды в скарнах Ольгинского и Дальнегорского рудных районов Приморья и некоторые вопросы металлогении южной части Сихотэ-Алиня // Докл. РАН. 2007. Т. 414, № 5. С. 667–671.
11. Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., Перевозникова Е.В., Карабцов А.А. Минеральные формы благородных металлов в металлоносных отложениях триасово-юрской углеродистой толщи Сихотэ-Алиня // ДАН. 2008. Т. 421, № 3. С. 383–386.
12. Казаченко В.Т., Мирошниченко Н.В., Перевозникова Е.В., Карабцов А.А. Приморье – новый перспективный регион России с золото-палладий-платиновым оруденением нетрадиционного типа // Докл. РАН. 2009. Т. 425, № 5. С. 651–655.
13. Коржинский Д.С. Теория метасоматической зональности. М.: Наука, 1969. 104 с.
14. Коржинский Д.С. Теоретические основы анализа парагенезисов минералов. М.: Наука, 1973. 288 с.
15. Лобанова Г.М. Условия нахождения куспидиновых и монтицеллитовых скарнов в месторождениях Южного Приморья // Зап. ВМО. 1960. Ч. 89, вып. 5. С. 523–541.
16. Радкевич Е.А., Лобанова Г.М., Томсон И.Н. и др. Геология свинцово-цинковых месторождений Приморья // Тр. ИГЕМ АН СССР. 1960. Т. 1, вып. 34. 328 с.
17. Angel R.J. The experimental determination of the johannsenite-bustamite equilibrium inversion curve // Contribs. Miner. Petrol. 1984. V. 85. P. 272–278.
18. Kazachenko V.T., Shcheka Zh.A., Narnov G.A. et al. Manganous amphiboles and layered silicates from a polymetallic deposit in Primorye, USSR // N. Jb. Miner. Abh., 1981. Bd. 140. H. 2. P. 165–183.
19. Lamb C.L., Lindsley D.H., Gyrover J.E. Johannsenite-bustamite: inversion and stability range // Geol. Soc. Amer. Abstrs. Meeting, 1972. P. 571–572.
20. Lindsley D.H., Munoz J.L. Subsolidus relations along the join hedenbergite-ferrosilite // Amer. J. Sci. 1969. V. 267-A. P. 295–324.
21. Rutstein M.S. Re-examination of the wollastonite-hedenbergite (CaSiO₃-CaFeSi₂O₆) equilibria // Amer. Miner. 1971. V. 56, N 11/12. P. 2040–2052.

Рекомендована к печати В.Г. Гоневчуком