

УДК 553.311.2

Ши Сюйдун¹**РЕГЕНЕРАЦИОННОЕ ЖЕЛЕЗНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ СИШИМЭНЬ (СЕВЕРО-ВОСТОК КИТАЯ)***ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1**Lomonosov Moscow State University, 119991, GSP-1, Leninskiye Gory, 1*

Скарновое железорудное месторождение Сишимень, приуроченное к глубинному разлому, расположено на контакте малых интрузий монцодиоритов с палеозойско-мезозойскими карбонатными породами. Оно представлено несколькими залежами лентовидной и линзовидной формы. Образование руд связано с процессами рециклинга рудного вещества. Процесс протекал в несколько этапов. Первичные осадочные и вулканогенно-осадочные руды формировались в архее–нижнем протерозое. Затем последовало несколько этапов тектономагматической активизации, среди которых наиболее значительным был аншанский (юрско-меловой). Монцодиоритовая магма в процессе рециклинга обогащалась сидерофильными элементами раннего докембрия и формировала в зоне глубинных разломов серию железорудных месторождений.

Ключевые слова: скарновое железорудное месторождение Сишимень, монцодиориты, карбонатные породы, рециклинг.

The Xishimen skarn iron deposit was confined to a deep fault and locates at the contact of small intrusions of monzodiorites with Pz–Mz carbonate rocks. It is represented by several banding and lenticular forms. The formation of ores is associated with the recycling processes of ore matter.

The process proceeded in several stages. Primary sedimentary and volcanogenic-sedimentary ores were formed in Ar–Prt1 time. Then followed several stages of tectonic-magmatic activation, among which the most significant was Anshan stage (Jurassic-Cretaceous). Monzodiorite magma in the process of recycling was enriched by siderophilic elements of early Precambrian and formed a series of Fe deposits in the zone of deep faults.

Key words: The Xishimen skarn iron deposit, monzodiorites, carbonate rocks, recycling.

Введение. Рудный район Ханьсин — одно из крупнейших скоплений скарновых железорудных месторождений Китая. На территории района выявлено более 100 рудных объектов с разведанными запасами около 1 млрд т. Среди них месторождение Сишимэнь — самый крупный объект с запасами около 110 млн т [Pei, 1995; Niu et al., 1994].

Рудный район Ханьсин расположен в Уаньском бассейне Шаньсиского горста в центральной части Северно-Китайской плиты. На западе он граничит с Тайханшаньским орогеническим поясом [Луо, 1999]. Разломы и складки развивались в север-северо-восточном направлении. Эта зона разломов, образовавшаяся в мезозое и непрерывно активизирующаяся в кайнозое, представляет собой глубинную разломную зону на западной границе Северо-Китайской зоны разломов, тесно связанных с движением Тихоокеанской плиты.

Кроме того, разрывные зоны Цишань-Гушань, Куаншань, Цунцзин, Шесянь и другие, ориентированные в указанном выше направлении в этом районе, контролируют распределение рудообразующих магматических пород. Вышеупомянутые разрывные зоны представляют собой производные структуры глубинных разломов Дасинаньлин–Тайханшань. Эти разрывные зоны

Северо-китайской рифтовой зоны и впадины Уань относятся к геодинамической обстановке растяжения, таким образом сформировался общий контур рудоконтролирующей структуры на территории Ханьсин (рис. 1).

В геологическом строении района принимают участие следующие стратифицированные образования: фундамент представлен в основном архейскими и среднепротерозойскими метаморфизованными образованиями, сложенными породами серии Вутай (архей) и системы Чанчэн (средний протерозой). Чехол сложен кембрийскими, ордовикскими, каменноугольными, пермскими, триасовыми, меловыми, палеогеновыми и четвертичными породами. Фанерозойские отложения имеют северо-восточное простирание и юго-восточное падение под углом не более 20°. Железорудные тела расположены на контакте диоритов с карбонатными породами, а также в зоне разломов (рис. 2).

Магматические породы. Магматическая деятельность протекала в четыре этапа: на первом сформировалась ультраосновная серия пород, на втором — диоритовый комплекс, на третьем — монзонитовый и на четвертом — щелочной сиенитовый. Установлено [Луо Чжаохуа, 1999], что интрузивные породы района сформировались в

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, аспирант; e-mail: sxdmsu@yandex.ru

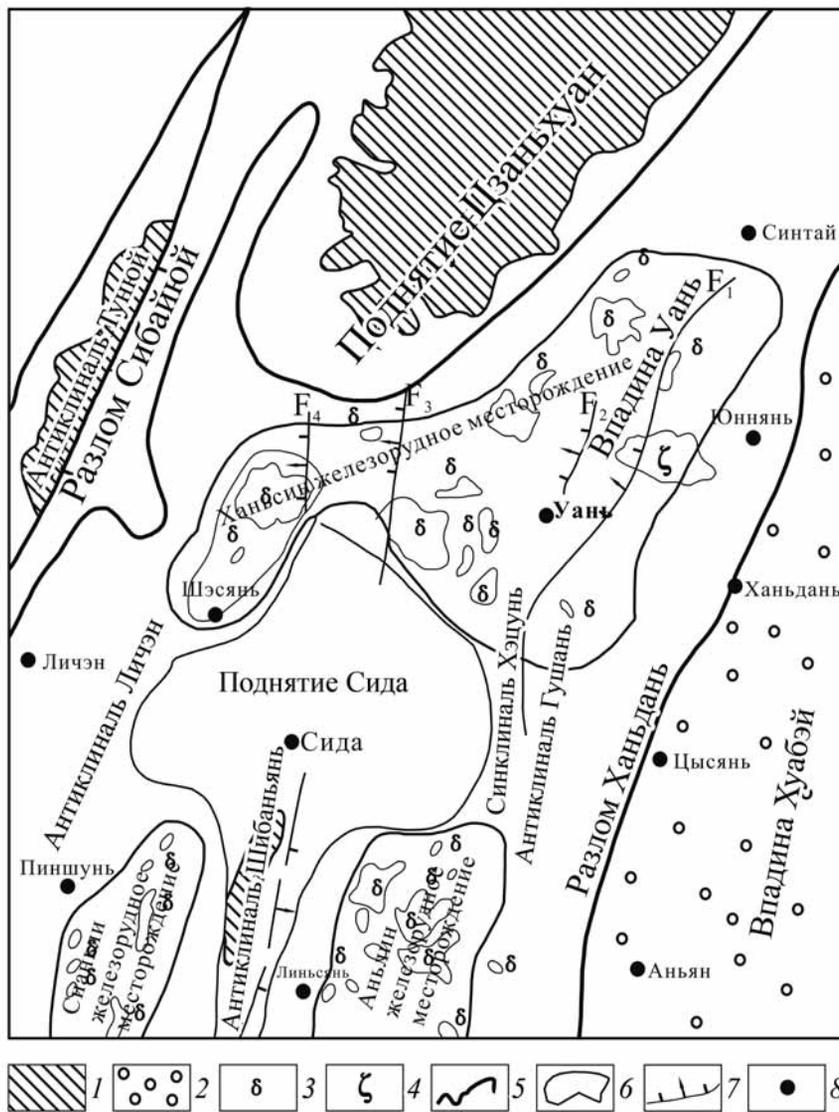


Рис. 2. Тектоническая карта района месторождения, по [Wang et al., 2011]: 1 — тектоническое поднятие, 2 — тектоническая впадина, 3 — диориты, 4 — монзониты, 5 — границы тектонических структур, 6 — контуры месторождений, 7 — разлом, 8 — города. F — зоны разрушения: F₁ — Цзышань, F₂ — Куаншань, F₃ — Цунцин, F₄ — Шэсянь

протяженностью 5 км и шириной 1,2–32,0 м (максимум 103,0 м). Оно содержит 95% от общего запаса руд. Альбититы развиты в верхней части диоритовых штоков, в лежачем боку рудной залежи и вблизи контактовой полосы между интрузивным массивом и карбонатными породами (рис. 4).

В разрезе выделяют зону мрамора и зону магнетита. Они составляют единую рудную залежь в метасоматическо-остаточной структуре. Апикальная часть этой зоны имеет четкий контакт с мраморами. В некоторых районах в приконтактной зоне рудной залежи и мраморов развиты типичные скарновые минералы: диопсид, тремолит, серпентин и др. На контакте развиты непосредственно скарны. Они сложены диопсидом, гранатами и флогопитом. Скарновая зона находится между зонами альбита и магнетита. Скарн в основном состоит из скаполита, диопсида, флогопита, серпентина, тремолита и актинолита.

Зона альбититизации выявлена около рудной залежи в ее эндоконтакте. В диоритовых ксенолитах отмечена разная степень альбититизации. Кроме того, широко развиты скарновые ассоциации:

скаполит, флогопит, эпидот, пренит, карбонаты, магнетит и т.д., причем чем ближе к приконтактной зоне, тем сильнее становятся степень метасоматоза, его интенсивность постепенно уменьшается вдоль массива. В зонах альбититизации можно выделить реликты монзонитов, диоритов и другие типы первичных пород. Конечный продукт — альбитит. Первичные полевые шпаты андезит или лабрадор ($An=33\div 67$), которые затем в результате метасоматоза были преобразованы в альбит ($An=0\div 7$) [Shen et al., 1977]. Магнитная восприимчивость альбитита сильно понижается (вплоть до близкой к нулю). Его масса уменьшается, количество Na_2O значительно возрастает, а FeO и Fe_2O_3 — сокращается. В связи с вышеупомянутыми характеристиками и близостью к оруденению альбит — один из важных показателей при поисках руды в этом районе.

Все без исключения обнаруженные рудные тела месторождения Уань находятся в контактовых зонах между диорит-монзонитовыми породными блоками и вмещающими карбонатами среднего ордовика. Диориты яньшанского времени в этом

Рис. 3. Схема последовательности минералообразования

Минералы	Ранняя стадия		Средняя стадия	Поздняя стадия	Стадия гипергенеза
	альбитизация	скарнизация			
Альбит	—	—	—	—	—
Салит	---	—	—	—	—
Скаполит	—	—	—	—	—
Диопсид	—	—	—	—	—
Диопсид с эгирином	—	—	—	—	—
Форстерит	—	—	—	—	—
Везувиан	—	—	—	—	—
Андрадит	—	—	—	—	—
Хондролит	—	---	—	—	—
Магнетит	—	—	—	—	—
Эпидот	—	—	—	—	—
Пренит	—	—	—	—	—
Флогопит	—	—	—	—	—
Пирит	—	—	—	—	—
Халькопирит	—	—	—	—	—
Борнит	—	—	—	—	—
Золото	—	—	—	—	—
Серебро	—	—	—	—	—
Тремолит-актинодит	—	—	—	—	—
Серпентин	—	—	—	—	—
Хлорит	—	—	—	—	—
Серицит	—	—	—	—	—
Кварц	—	—	—	—	—
Кальцит	—	—	—	—	—
Мартит	—	—	—	—	—
Малахит	—	—	—	—	—
Лимонит	—	—	—	—	—

районе наблюдаются как «пластовые» интрузии, которые образуют многоэтажные пояса минерализации.

Рудные тела слоистые и линзовидной формы; залегание мелких месторождений относительно сложное, они имеют разнообразную неправильную и чечевицеобразную форму (рис. 5). Нижняя часть рудного тела более обогащена тяжелым изотопом Fe, чем верхняя. Можно предположить, что направление движения магмы происходило от нижней части к верхней [Chen, 2014].

Изотопия железа, серы и свинца. Состав изотопов Fe в Сижимэньском магнитном железяке стабилен; диапазон изменения $\delta^{56}\text{Fe}$ составляет 0,008–0,115‰, среднее значение $\delta^{56}\text{Fe} = 0,065\text{‰} \pm 0,089$ (2SD, $n=11$), что совпадает с усредненными данными о изотопах железа во вкрапленниках магнетита в диоритах $\delta^{56}\text{Fe}$ (–0,1‰).

Это означает, что Сижимэньский железяк относится к высокотемпературным скарновым образованиям. Значения $\delta^{56}\text{Fe}$ в кровле залежей имеют очевидную отрицательную корреляцию по сравнению с таковыми для подошвы залежей. Фракционирование изотопа Fe проявилось в концентрировании легкого изотопа в верхней части разреза, а тяжелого — в нижней [Chen et al., 2014]. Основное рудное тело Сижимэнь контролируется гигантской пологой сводчатой структурой протяженностью 5 км и шириной 1,2–32,0 м, максимум 103,0 м. Оно содержит 95% от общего запаса руд. Альбититы развиты в верхней части диоритовых штоков, в лежачем боку рудной залежи и вблизи контактной полосы между интрузивным массивом и карбонатными породами (рис. 6).

Состав изотопов S в сульфидах и ангидридах — 9–21‰ и 21–30‰ соответственно [Zhang

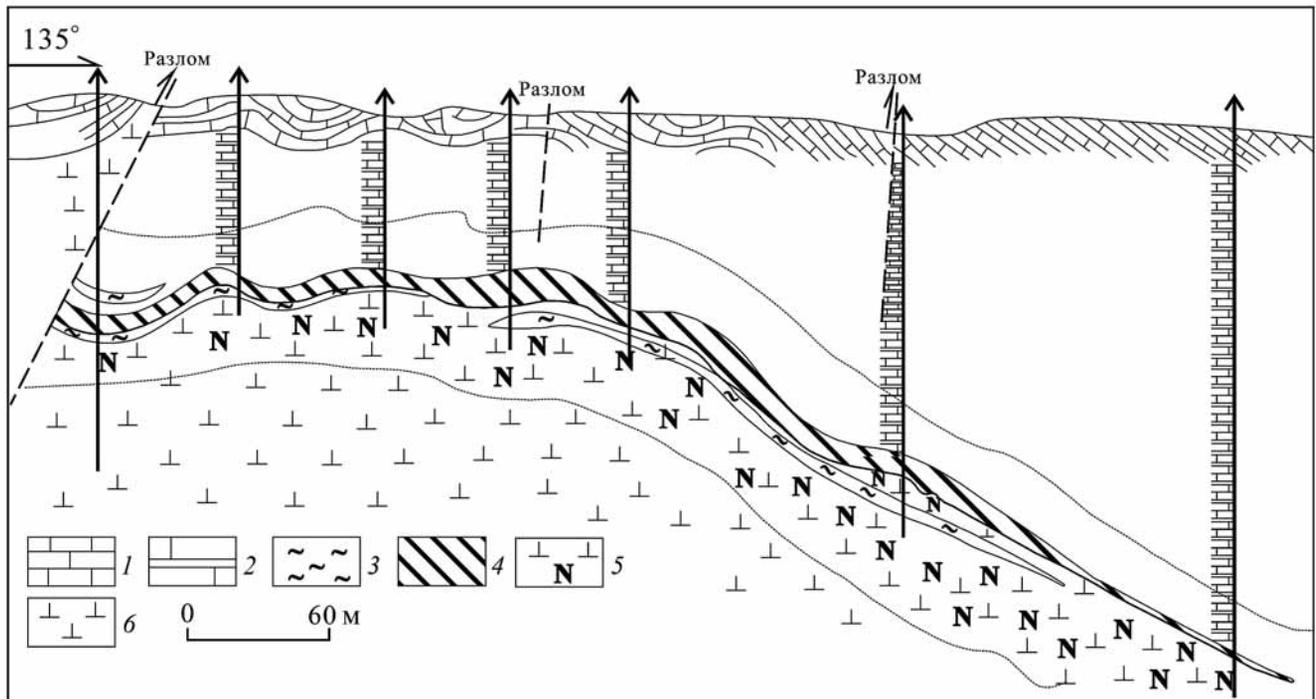


Рис. 4. Геологический разрез через месторождение Сишимень, рудный район Уань, по [Zheng, 2007]: 1 — известняк, брекчиевидный известняк; 2 — мрамор, кристаллический известняк; 3 — скарн; 4 — магнетитовая руда; 5 — альбитизация, диорит; 6 — диорит

Baiming et al., 2015], а $\delta^{34}\text{S}$ пирита в магматических породах составляет 2,5–15,6‰, а $\delta^{34}\text{S}$ пирита залежи магнитных железняков на рудном месторождении Бэйминхэ варьирует в интервале 12,2–16,5‰. Считается, что этот район характеризуется повышенным содержанием $\delta^{34}\text{S}$. Возможно, это связано с воздействием интрузии. Результаты изучения изотопов Pb показывают, что изотопный состав свинца рудоносных толщ сходен с таковым свинца диоритов, что свидетельствует о едином генезисе

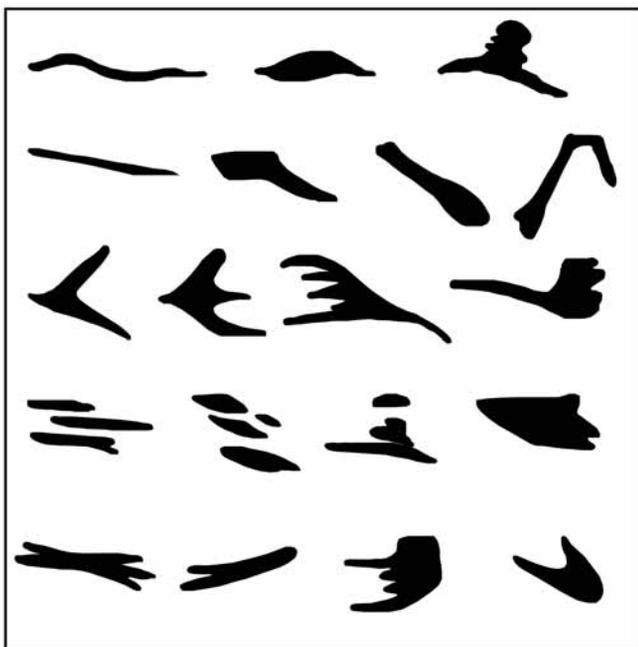


Рис. 5. Формы рудных тел

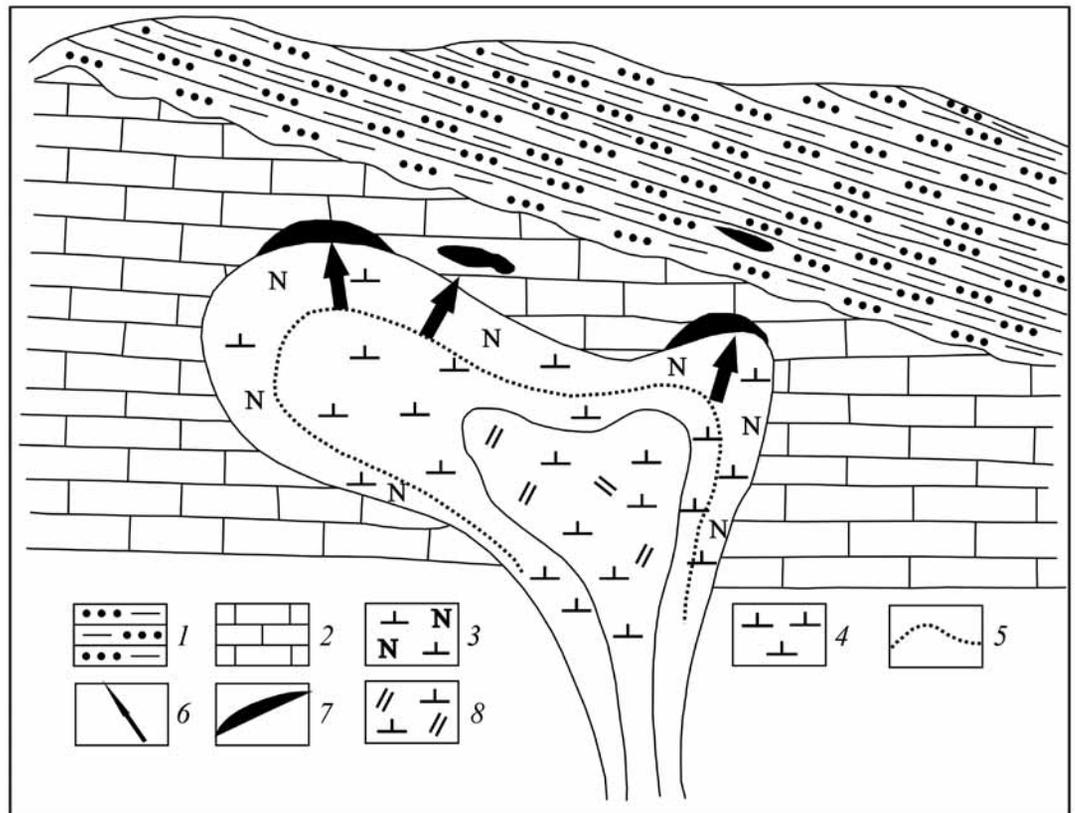
свинца в рудах и вмещающих породах. В соответствии с данными работы [Wang et al., 2011] следует, что свинцы скарновой рудной залежи Бэйминхэ происходили главным образом из нижней коры с незначительными включениями свинца из мантии.

Флюидные включения. Исследование индивидуальных флюидных включений показывает, что процесс отложения магнетитовой минерализации на месторождении Сишимень начался из высокотемпературных высокоминерализованных хлоридных флюидов. По мере отложения руд температура флюидов падала и уменьшалась концентрация солей (рис. 7), что можно объяснить смешением глубинных хлоридных флюидов с растворами иной природы. Температура кристаллизации минералов месторождения может существенно превышать температуру гомогенизации флюидных включений в случае высокого давления при рудоотложении. Аналогичные хлоридные флюиды формировали молодые железорудные месторождения Ирана [Nabatian et al., 2014] и ряда других регионов.

Пример рециклинга железорудного оруденения — железные руды месторождения Бэйминхэ, расположенного на территории г. Ханьсин провинции Хэбэй [Zheng et al., 2007], это самый крупный железорудный объект в Северном Китае, они выделяются как особый генетический тип Ханьсин.

Железные руды Бэйминхэ расположены на северном краю железорудного поля Уань. Как и другие железные руды в этом районе, залежи зоны Бэйминхэ имеют пластовую лентовидную форму и залегают среди ордовикских известняков и доломитовых известняков, частично мраморизованных.

Рис. 6. Схематическая модель месторождения: 1 — каменноугольные и пермские отложения, 2 — среднеордовикские отложения, 3 — альбитовые диориты, 4 — диориты, 5 — линия окolorудного изменения, 6 — направление движения минеральных флюидов, 7 — железные руды, 8 — монцонит-диориты



В экзоконтактах монцодиоритов отмечается слабое скарнирование. Основной вид магматитов в этом районе — монцодиориты, возраст которых составляет 109–132 Ма. Глубина залегания железных руд Бэйминхэ 134–679 м. Месторождение имеет серповидную форму в горизонтальном плане, а в разрезе представляет собой серии линзовидных кулисных тел разного размера.

Рудное тело лентовидной формы постепенно меняет простирание с широтного на северо-западное. Его длина 1620 м, ширина 92–376 м, максимальная мощность 193,71 м (средняя 13,2 м). Основные минералы: магнетит, пирит, наблюдается небольшое количество гематита, пирротина, халькопирита, ортита, малахита, лимонита и ряда оксидных минералов. Из нерудных отмечены диопсид, тремолит, флогопит, кальцит, доломит, хлорит, а также тальк, эпидот, ортит, серпентин, кварц, халцедон, опал и др.

В южной части горной системы Тайхан расположены аналогичные месторождения Пиншунь в провинции Шаньси и Аньян-Линьсянь в провинции Хэнань, которые составляют единую зону скарновых железных руд. В этом регионе проведено большое количество геологических, геохимических петрологических исследований. Большинство геологов [Luo, 1997; Chen et al., 2006] полагают, что железное оруденение генетически связано с мантийно-коровым щелочным монцонито-

диоритовым магматизмом. Чжэн Цзяньмин [2007] оценил возраст оруденения в 133,6 Ма, анализы основной массы проб, в которых изучены изотопы свинца скарновых руд Бэйминхэ, указывают на происхождение их из комплексов нижней коры с незначительным включением мантийного свинца.

Месторождения региона контролируются системой север-севера-западных глубинных разломов, осложненных широтными и диагональными сколовыми нарушениями и приразломными вулканогенными впадинами. Рудовмещающие

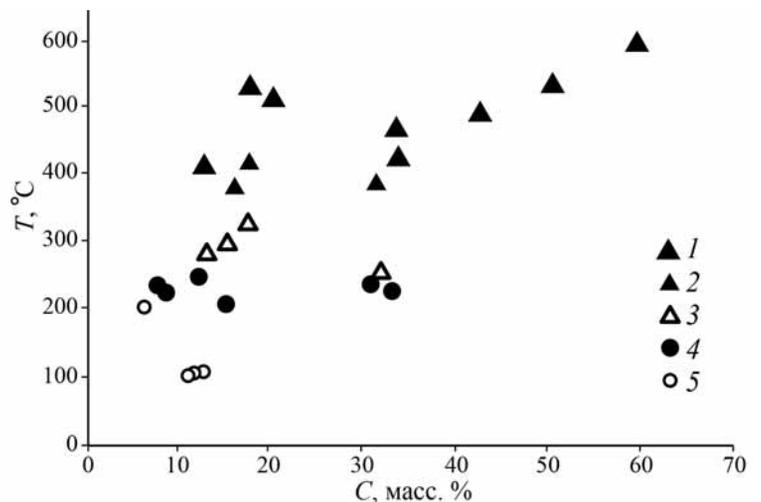


Рис. 7. Диаграмма температура–концентрация для рудообразующих флюидов железорудного месторождения Сишимень, Китай: 1–3 — флюидные включения в диопсиде: 1 — первичные, 2 — первично-вторичные, 3 — вторичные; 4–5 — флюидные включения в карбонате: 4 — первичные, 5 — вторичные

отложения представлены терригенными породами среднего ордовика. Раннее вулканогенно-осадочное и эксголяционно-осадочное оруденение региона возникло в вулканогенных депрессиях и по их периферии. Оно приурочено к пересечениям радиальных вулканических разломов. Возраст раннего этапа — поздняя юра. Во второй позднеаншанский этап (меловой период) возник ряд промышленных скарновых железорудных месторождений.

Оруденение типа Ханьсин находится в центральной части Северо-Китайской плиты, в депрессии Уань, контролируемой глубинным разломом Шаньси север-северо-восточного простирания, возникшем в мезозое в приграничной зоне Тихоокеанской океанической плиты и континентальной плиты. В восточной части этого региона расположена разломная зона Дасинъаньлин–Тайхан, также имеющая субмеридиональное простирание. Кроме того, выделяют аналогичные разломы Цишань, Гушань, Куаншань, Цунцзин, Шесянь, которые контролируют мезозойско-кайнозойский магматизм. На северо-восточной части Китайской континентальной плиты в пределах западного глобального Тихоокеанского металлогенического пояса щелочность (K_2O) мезозойского магматизма коррелирует с расстоянием от края континентальной плиты, ее мощностью и глубиной поверхности Мохоровичича (М): в восточной части — 38 км и $K_2O=0,20$; в средней — 38–39 км и $K_2O=0,29$ и в западной — 41–43 км и $K_2O=0,41$.

Уаньские контактово-метасоматические месторождения магнетита локализованы на контакте карбонатных пород ордовикского возраста и вулканогенно-осадочных пород палеозоя, а также прорывающих их палеозойских магматических тел среднего и основного состава. Рудные тела имеют линзовидную форму и сложены кристаллическим агрегатом, состоящим из диопсида, карбоната, полевых шпатов и магнетита. При изучении полированных шлифов руд с помощью сканирующего электронного микроскопа «JSM–5300» с энергодисперсионной приставкой «Link ISIS» (ИГЕМ РАН, аналитик Н.В. Трубкин) были обнаружены диопсид, калиевый полевой шпат, альбит, анортит, клинохлор $(Mg,Fe)_5Al(AlSi_3O_{10})(OH)_8$, кальциотальк $CaMg_2Si_4O_{10}(OH)_2$, сфен. В магнетите выявлено значительное количество хрома (11,6–6,9 масс.%), что позволяет назвать его хроммагнетитом, а также значительное количество марганца (1,4–0,8 масс.%) и титана (1,1–0,6 масс.%).

Исследования флюидных включений свидетельствуют о том, что скарновые железные руды месторождения Уань формировались из магматических высокотемпературных хлоридных рассолов высокой плотности. Аналогичные флюиды формировали железорудные месторождения в Иране [Nabatian et al., 2014] и ряде других регионов.

Чжень Юньцин [1978] разделил фанерозойскую железорудную провинцию на три зоны: восточную, центральную и западную. Восточная зона — среднещелочные и щелочные магматические породы, центральная — средние и основные магматические породы (авгитовые диориты–диориты), западная зона — среднещелочные и щелочные магматические породы (сиенитодиориты–диориты).

Материалы геолого-разведочных пород показывают, что в восточной зоне присутствуют большие запасы железных руд, причем лучшего качества, чем в западной, где запасы меньше. Северо-восточнее района Уань обнажаются на поверхности грандиозные скопления железистых кварцитов аншанского типа (архейско-протерозойского возраста). Руды провинции Аншань представлены тремя горизонтами: 1) группа Аншань среднеархейского возраста; 2) группа Утай — позднеархейские; 3) группа Люлян — раннепротерозойские (при датировании К-Аг методом возраст составил 1881 млн лет). Железные залежи представлены слоистыми или линзообразными телами. Они сложены в основном кварцитами, среди которых выделяются более поздние богатые магнетит-гематитовые руды, залегающие в ореолах зеленосланцевых метаморфитов. Предполагается, что первоначально рудообразование протекало эксголяционным способом при извержении древних вулканов. Чжен Юбинг с коллегами [Zhen et al., 1984] установили, что руды аншанского и хансинского типов по комплексу признаков идентичны, так как, во-первых, расположены на одной и той же северо-восточной части Северо-Китайской платформы; во-вторых, контролируются едиными древними глубинными север-северо-западными и широтными разломами; в-третьих, руды обоих типов имеют идентичный состав нерудных компонентов.

Авторы указанной выше работы делают вывод, что источником металла (железа) для мезозойских скарновых месторождений в платформенном чехле были раннедокембрийские железистые кварциты Аншанской провинции. По геофизическим данным провинция Аншань приурочена к понижению границы Мохоровичича и контролируется широтными «древними рифтами». В более молодых фанерозойских отложениях платформенного чехла широко развиты разломы север-северо-восточного простирания, которые контролируют щелочной монзонитовый магматизм и оруденение типа хансинь. Раннеархейские метаморфические породы по данным свинцовой изотопии в районе Саньинтунь имеют возраст 3479 ± 230 млн лет, а в районе Тайпинчай — 2670 ± 230 млн лет. Породы представлены гиперстеновыми гранулитами, плагиоклаз-гиперстеновыми разностями, плагиоклазовыми и биотитовыми гнейсами. Этот комплекс возник при метаморфических преобразованиях океанических базальтов, ультраосновных и остро-

водужных щелочных пород. Образование основной массы железистых кварцитов протекало в среднем и позднем архее. В протерозое основной вулканизм сменился средним. Синхронно формировались тонкообломочные терригенные осадочные образования, известняки и доломиты.

Метаморфические комплексы докембрийского фундамента характеризуются тенденцией к изменению от основных пород к кислым и средним (SiO_2 60,46%, для вулканитов — SiO_2 61,38%, для интрузивов — SiO_2 69,63%). В породах чехла, вмещающих железные руды типа хансин, содержание SiO_2 составляет 59,27%, что почти равно содержанию SiO_2 в метаморфитах фундамента. Определение в рудах обоих типов месторождений сопутствующих компонентов показало, что пластовые руды типа хансин идентичны залегающим в фундаменте рудам формации железистых кварцитов аншанского типа. В зонах мезозойской субдукции, как и в корневых частях глубинных разломов, протекали процессы частичного плавления докембрийского субстрата и вещества верхней мантии. Возникшие магмы диорит-монцонитового состава содержат неассимилированные ксенолиты перидотитов. Установлены гибридные интрузивные породы, содержащие оливины, пироксены и продукты более поздней метасоматической низкотемпературной переработки: серпентин, хлорит, тальк и амфибол. Гибридные роговообманковые пикриты характеризуются разнообразными структурами замещения. Они похожи на перидотиты и оливиновые

гипериты (гиперстеновое габбро) по химическому составу, что говорит о полном переплавлении. Поэтому можно предположить, что источником железной руды типа хансин послужили гриналитовые железистые кварциты докембрия. Процесс минерализации заключался в выносе кремнезема, привносе щелочей и выделении железа.

Выводы. 1. Скарновое железорудное месторождение приурочено к глубинному субмеридиональному разлому, расположено на контакте малых интрузий монцодиоритов с палеозойско-мезозойскими карбонатными породами.

2. Месторождение представлено несколькими залежами лентовидной и линзовидной формы и зонами вкрапленных руд.

3. Образование железных руд связано с процессами рециклинга рудного вещества. Процесс протекал в несколько этапов. Первичные осадочные и вулканогенно-осадочные руды формировались в архее-раннем протерозое. Затем последовало несколько этапов тектоно-магматической активизации, среди которых наиболее значительным был аншанский (юрско-меловой).

4. Диоритовая и монцодиоритовые магмы в процессе аншанского рециклинга обогащались сидерофильными элементами и формировали в зоне глубинных разломов серию железорудных месторождений.

5. В провинции Хэбэй перспективны на месторождении железа глубинные разломы с комплексом диоритовых монцонитовых малых интрузий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Старостин В.И., Прокофьев В.Ю., Ши Сюдун. Рециклинг железного оруденения в эволюции Земли // Смирновский сборник-2015. М.: ВИНТИ, 2000. С. 65–80.

Ши Сюдун, Старостин В.И., Прокофьев В.Ю. Рудообразующие флюиды скарнового железорудного месторождения Сишимень, провинция Хэбэй, Китай // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. С. 163–170.

Chen Bin, Liu Chaoqun, Tian Wei. Magma mixing between mantle and crustal derived melts in the process of Mesozoic magmatism, Taihangshan: constraints from petrology and geochemistry // Earth Sci. Frontiers. 2006. Vol. 13, N 2. P. 140–147.

Chen Yongjian, Su Shangguo, He Yongsheng et al. Fe isotope compositions and implications on mineralization of Xishimen iron deposit in Wuan Hebei // Acta Petrol. Sinica. 2014. Vol. 30, N 11. P. 3443–3454.

Luo Zhaohua, Deng Jinfu, Cao Yongqing et al. On late paleozoic-early mesozoic volcanism and regional tectonic evolution of eastern Kunlun, Qinghai province // Geoscience. 1999. Vol. 13, N 1. P. 51–56.

Mao Debao, Zhong Changting, Chen Zhihong, Hu Xiaodie. Pb isotope characteristics of Pb-Zn-(Ag) deposits in the Middle North Margin of North China block: Constraints on source process // Progress in Precamb. Res. 2001. Vol. 4. P. 193–199.

Meng Guixiang, Lu Qingtian, Yan Jiayong et al. Iron metallogenic characteristics and prospecting potential of

Beishan area, Inner Mongolia // Mineral Deposits. 2009. Vol. 12, N 28(6). P. 815–829.

Nabatian G., Ghaderi M., Corfu F. et al. Geology, alteration, age, and origin of iron oxide-apatite deposits in Upper Eo-cene quartz monzonite, Zanjan district, NW Iran // Miner. Deposita. 2014. Vol. 49. P. 217–234.

Niu Shuyin, Chen Lu, Xu Chuanshi et al. The tectonic evolution and metallogenic regularity of the Taihangshan area. Beijing: Seismological Press, 1994.

Pei Rongfu. Mineral deposit models of china. Beijing: Geological publishing house, 1995.

Perry E.C.Jr., Tan F.C. Significance of oxygen and carbon isotope variations in early Precambrian cherts and carbonate rocks of South Africa // Geol. Soc. Amer. Bull. 1972. Vol. 83. P. 647–664.

Shen Baofeng, Lu Songnian, Yu Enze et al. The characteristics of sodium metasomatism in magnetite deposits of a certain region and its prospecting significance // Scien. Geologica Sinica. 1977. Vol. 3. P. 263–274.

Wang Yanjuan, Hu Yuanyue, Shen Junfeng et al. Sulfur and lead isotope composition and tracing for sources of ore-forming materials in beiming river iron deposits, Southern Taihang Mountains // Geoscience. 2011. Vol. 10, N 25(5) P.846–852.

Wang Yue, Zhu Xiangkun. Fe isotope systematics and its implications in ore deposit geology // Acta Petrol. Sinica. 2012. Vol. 28, N 11. P. 3638–3654.

Xie Guiqing, Mao Jingwen, Li Ruiling. et al. Re-Os molybdenite and Ar-Ar phlogopite dating of Cu-Fe-Au-Mo (W) deposits in southeastern Hubei, China // *Mineral. and Petrol.* 2007. Vol. 90, N 3/4. P. 249–270.

Yu Jinjie, Mao Jingwen. ^{40}Ar – ^{39}Ar dating of albite and phlogopite from porphyry iron deposits in the Ningwn basin in east-central China and Its Significance // *Acta Geolo. Sinica.* 2004. Vol. 78. N. 2. P. 435–442.

Zhao Xinmiao, Zhu Xiangkun, Zhang Hongfu, Tang Suoha. Applications of Fe isotopes to tracing mantle processes // *Acta Petrol. et Mineral.* 2008. Vol. 5. P. 435–440.

Zheng Jianmin, Xie Guiqing, Liu Jun et al. ^{40}Ar – ^{39}Ar dating of phlogopite from the Xishimen skarn iron de-

posit in the Handan–Xingtai area, southern Hebei, and its implications // *Acta Petrolo. Sinica.* 2007. Vol. 23, N 10. P. 2513–2518.

Zheng Jianmin, Xie Guiqing, Chen Maohong et al. Pluton emplacement: mechanism constraint on skarn deposit: A case study of skarn Fe deposits in Handan-Xingtai are // *Mineral Deposits.* 2007. N 4. P. 481–486.

Zhen Yunqing, Ma Lihua, Li Zhongsheng. A probable correlation between the iron deposits of anshan type and hanxing type // *Earth Sci. Wuhan College of Geology.* Vol. 27, N 4. P. 81.

Поступила в редакцию 00.00.2019

Поступила с доработки 00.00.2020

Принята к публикации 00.00.2020