

УДК 549: 552.18

МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТАМАНГАНОЛИТОВ УРАЛА**А.И. Брусницын¹, Е.В. Старикова², И.Г. Жуков^{3,4}**¹*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург; brusspb@yandex.ru*²*Всероссийский геологический институт, г. Санкт-Петербург*³*Институт Минералогии УрО РАН, г. Миасс*⁴*Южно-Уральский государственный университет, г. Миасс***METAMANGANOLITH DEPOSITS OF THE URALS****A.I. Brusnitsyn¹, E.V. Starikova², I.G. Zhukov³**¹ – *Department of Mineralogy, St. Petersburg State University, St.-Petersburg; brusspb@yandex.ru*² – *Russian Geological Research Institute, St.-Petersburg*³ – *Institute of Mineralogy UB RAS, National Research South Urals State University, Miass*

Приведена минералогия метаморфизованных марганцевых отложений Урала. Суммарно в них диагностировано 112 минеральных видов. Формирование минеральных ассоциаций марганцевых метаосадков контролировалось составом исходных отложений и распределением в них органического вещества. Тип метаморфических пород (карбонатный, оксидно-карбонатно-силикатный и оксидно-силикатный) закладывался ещё на стадии диагенеза. Марганец в осадке накапливался не только в оксидной, но и в силикатной форме (Mn–Si гель, стекло и т.п.). Кристаллизация силикатов марганца не требует высоких температур. В метаморфизованных марганцевых отложениях целесообразно выделять низкотемпературную кариопилитовую (или тейфроит-кариопилит-пироксмангитовую ± родонит) и высокотемпературную бескариопилитовую (или тейфроит-пироксмангитовую ± родонит) фации. *PT*–границы первой из них соответствуют цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фациям, второй – зеленосланцевой и более глубоким фациям. Высокие концентрации и большое видовое разнообразие силикатов марганца в слабо-метаморфизованных породах служит косвенным свидетельством гидротермально-осадочного происхождения металлоносных отложений.

Илл. 10. Табл. 2. Библ. 86.

Ключевые слова: минералы марганца, кариопилит, месторождения Урала.

Mineralogy of the metamorphosed manganese sediments, which are hosted by sedimentary complexes of the Urals, is described. One hundred and twelve minerals were identified in the manganese rocks. According to the variable amount of major minerals, the manganese rocks are subdivided on carbonate (I), oxide-carbonate-silicate (II), and oxide-silicate (III) types. The formation of a certain mineralogical type of metamorphic assemblage is controlled by the content of organic matter in the primary sediments. The type I → type II → type III consequence reflects the decrease in the amount of organic matter in metalliferous sediments. Mineralogical data indicate that, in primary sediments, Mn accumulated in a silicate form (Mn–Si gel, glass, etc). During diagenesis, the Mn–Si phase was transformed to neotokite with subsequent formation of caryopilite and further crystallization of pyroxmangite, rhodonite, tephroite, and other silicates due to reactions involving caryopilite. The metamorphosed Mn-bearing sediments are characterized by the low-temperature caryopilite-bearing (or tephroite-caryopilite-pyroxmangite ± rhodonite) and high-temperature caryopilite-free (or tephroite-pyroxmangite ± rhodonite) facies. Their *PT*-conditions correspond to zeolite and prehnite-pumpellyite (the low-temperature) and green schist and higher grade (the high-temperature) facies.

Figures 10. Tables 2. References 86.

Key words: Mn minerals, caryopilite, Mn deposits of the Urals.

Введение

Метаманганолиты – обобщающее название разнообразных по минеральному составу метаморфизованных марганценосных отложений осадочного или гидротермально-осадочного генезиса (Брусницын, 2013а). Аналогичным образом в литологии уже давно используется термин «манганолиты» для обозначения обогащённых марганцем осадочных пород, не претерпевших метаморфогенных преобразований (Систематика..., 1998).

Самыми известными в России метаманганолитами являются поделочные родонитовые породы («родонит», «орлец») знаменитого Малоседельниковского месторождения на Среднем Урале. Но это далеко не единственный пример подобного типа объектов в данном регионе. На Урале известно несколько десятков небольших по запасам месторождений марганца, приуроченных к осадочным и вулканогенно-осадочным толщам (Бетехтин, 1940, 1946; Гаврилов, 1972; Лукошков, 1983; Михайлов, 2001, 2011; Шишкин, Герасимов, 1995; Овчинников, 1998; Контарь и др., 1999; Костюк и др., 2000; Брусницын, Жуков, 2010; Старикова, Завилейский, 2010; Brusnitsyn, Zhukov, 2012; Брусницын, 2013а; Кулешов и др., 2014; Старикова, 2014). На большинстве из них степень метаморфизма пород соответствует *PT*-параметрам пренит-пумпеллиитовой или зеленосланцевой фаций. При этих условиях марганцевые породы приобретают специфический облик. С одной стороны, в них ещё сохраняются реликты осадочного протолита, седиментогенно-диагенетических текстур и структур. Но, с другой стороны, в основной массе пород уже происходит интенсивная кристаллизация типично метаморфогенных минералов (родонита, тефроита, спессартина и др.). Изучение таких «переходных» пород даёт хорошую возможность проследить изменения фазового состава марганценосных отложений при постепенном повышении температуры и давления, т. е. при переходе от осадочной породы к метаморфической. Подобные минералогические реконструкции являлись одной из главных задач выполненных нами работ.

Проведённым исследованиям способствовали два обстоятельства. Во-первых, широкое внедрение в минералогическую практику локальных методов изучения кристаллического вещества. Во-вторых, в конце 1990-х – начале 2000-х годов на Урале проводилась ревизия запасов марганцевых руд. В то время карьерами и канавами на некоторых месторождениях были хорошо вскрыты марганценосные

залежи, что позволило изучить их строение и получить уникальный каменный материал, недоступный ранее. Сейчас горные работы практически везде остановлены, и, к сожалению, существующие карьеры быстро оплывают и зарастают. Поэтому одной из актуальных задач является преумножение и сохранение информации о минеральном разнообразии марганцевых пород Урала.

Всего в период с 1993 по 2016 гг. нами изучено более 30 месторождений. Из них для детальных минералогических исследований выбраны наиболее представительные объекты: на Пай-Хое месторождения – Хэйяхинское, Сибирчатаяхинское, Карское-1 и -2, Надейяхинское-1 и Надейяхинское-2, Нижнесиловское и Силоваяхинское; на Полярном Урале – проявления верховьев долины р. Сось и Парнокское месторождение; на Среднем Урале месторождения – Малоседельниковское, Кургановское и Бородулинское-1; на Южном Урале – Кожаевское, Уразовское, Габдимовское, Биккуловское, Казган-Таш, Аюсазовское, Ниязгуловское-2, Кусимовское, Кызыл-Таш, Кусимовское, Южно-, Средне- и Северо-Файзулинские.

Результаты исследования отдельных месторождений приведены в предыдущих публикациях авторов (Брусницын, 1998, 2000, 2006, 2009, 2013а, 2015; Брусницын, Жуков, 2010; Brusnitsyn, Zhukov, 2012; Старикова и др., 2004; Старикова, 2011, 2012, 2014; Старикова, Завилейский, 2010; Брусницын и др., 2014). Цель настоящей статьи – дать обобщённую характеристику минералогии слабометаморфизованных марганцевых отложений Урала и проинтерпретировать полученные материалы с позиции условий образования и преобразования металлоносных осадков.

Геологическая позиция месторождений в структурах Урала

В современном эрозионном срезе Урал представляет собой ориентированный в меридиональном направлении складчатый пояс протяжённостью 2500 км при ширине от 200 до 450 км. Геологическое строение Урала рассмотрено в большом количестве специальных работ (Пучков, 2010; Геология и полезные ископаемые..., 2011; и др.). Согласно современным представлениям, Уральский складчатый пояс образовался в ходе развития подвижной области, заложенной на докембрийском фундаменте в кембрии–ордовике, стабильно развивавшейся в ордовике–девоне и деформированной

в период карбон–триасовой коллизии. Пояс имеет зональное строение (рис. 1). В нём выделяются два крупных сектора – Западный, палеоконтинентальный, и Восточный, палеоокеанический.

Западный сектор является фрагментом пассивной окраины Восточно-Европейского палеоконтинента. Он включает в себя Предуральский краевой прогиб, выполненный молассовой и флишевой формациями пермь–триасового возраста; Западно-Уральскую зону, сложенную палеозойскими осадочными отложениями шельфа и батиали; Центрально-Уральскую зону, сформированную осадочными, метаморфическими и магматическими образованиями докембрийского возраста.

Восточный сектор представляют собой фрагменты активной палеоконтинентальной окраины, сочетающей в себе формации океанического дна, энсиматических островных дуг, междуговых бассейнов и блоков микроконтинентов. Этот сектор состоит из Тагило-Магнитогорской зоны, в строении которой преобладают палеозойские островодужные вулканы и вулканогенно-осадочные породы; Восточно-Уральской зоны, представляющей собой чередование поднятых массивов метаморфических пород докембрия (микроконтинентов) и прогибов, выполненных вулканогенными и осадочными толщами силура–девона, аналогичными по составу породам Тагило-Магнитогорской мегазоны. Кроме того, здесь широко развиты пермские интрузии гранитоидов. Границей между западным и восточным секторами служит Главный уральский разлом – падающий на восток крупный надвиг (сутура), трассирующийся массивами офиолитов и меланж-олистостромовыми комплексами.

Месторождения марганцевых пород установлены на всём протяжении уральского складчатого пояса (Контарь и др., 1999; Михайлов, 2001, 2011). Они приурочены к различным структурно-формационным (палеогеодинамическим) зонам и локализованы в отложениях разного возраста (см. рис. 1).

Характеристика месторождений

Изученные нами месторождения Пай-Хоя и Полярного Урала залегают в осадочных формациях пассивной палеоконтинентальной окраины. Месторождения Среднего и Южного Урала, напротив, принадлежат к вулканогенно-осадочным комплексам активной палеоконтинентальной окраины.

Краткая характеристика объектов исследования дана в таблице 1.

Месторождения в осадочных толщах. Месторождения Пай-Хоя и Полярного Урала локализованы в кремнистых и глинисто-карбонатных отложениях глубокого шельфа и континентального склона (рис. 2). Среди вмещающих пород постоянно присутствуют углеродистые разновидности – чёрные сланцы.

Месторождения Пай-Хоя. Впервые марганцевые породы на Пай-Хое были найдены в начале XX века, но активное изучение их проведено в 1970–1990-х и 2006–2014 гг. (Микляев, 1991; Юдович и др., 1998; Юшкин и др., 2007; Старикова, Завилейский, 2010; Старикова, 2014). Стратиформная марганцевая минерализация прослежена на территории протяженностью более 80 км при ширине примерно 30 км. Вмещающими являются карбонатно-кремнистые, глинисто-карбонатно-кремнистые и кремнистые отложения верхнего девона (рис. 3а–г). В основании марганцевоносной толщи располагается горизонт красных яшм с прослоями известняков и кремнистых сланцев. Выше залегают кремнистые сланцы, содержащие переменные количества карбонатного и глинистого материала. Некоторые разновидности сланцев обогащены тонкодисперсным органическим веществом. Общая мощность марганцевоносной толщи составляет от 10 до 30 м. Марганцевые породы слагают серии пластов и уплощённых линз размерами от 0.2 до 3 м по мощности и несколько десятков–сотен метров по простиранию. Большинство пластов марганцевых пород расположено в перекрывающих яшмы сланцах, но известны также пласты и внутри яшмового горизонта.

Месторождения Полярного Урала. Марганцевые породы изучены в двух районах: в верховьях р. Сось к северу от гипербазитового массива Рай-Из и на Парнокском месторождении. Марганцевые породы в долине реки Сось обнаружены в 1960-х годах, изучались в 1970–1980-х гг. и позднее в 2003–2004 гг. (Силаев, 1994; Костюк и др., 2000; Брехунцов и др., 2004). По геологическим условиям залегания они имеют много общего с рассмотренными выше месторождениями Пай-Хоя. Вмещающие породы представлены кремнистыми, углеродисто-кремнистыми, углеродисто-глинисто-кремнистыми сланцами верхнего девона–нижнего карбона. Марганцевые породы формируют согласные тела линзовидной и пластообразной формы с видимыми размерами от 0.2 до 1.5 м по мощности и первыми десятками метров по простиранию. Крупных и выдержанных по размеру марганцевоносных пластов

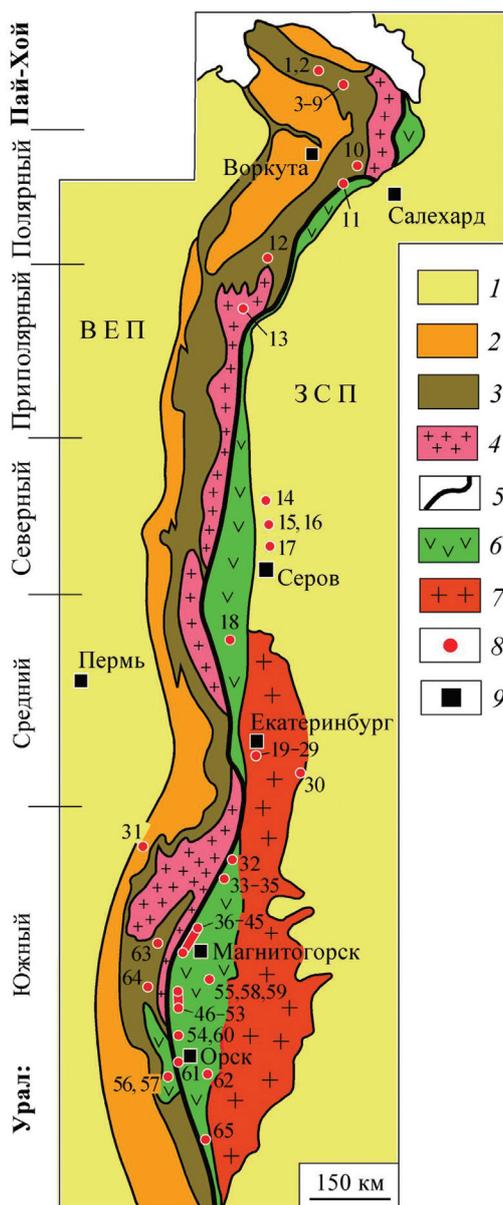


Рис. 1. Схема размещения главных месторождений марганцевых пород Урала.

Геологическая основа дана по В.Н. Пучкову (2010).

1 – чехол Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и Западно-Сибирской плиты (ЗСП) (карбонатные, песчано-глинистые и др. формации); 2–7 – структурно-формационные (палеогеодинамические) зоны: 2 – Предуральский краевой прогиб (молаассовая формация), 3 – Западно-Уральская зона (осадочные формации пассивной континентальной окраины), 4 – Центрально-Уральская зона (основание складчатой системы: метаморфогенные формации), 5 – Главный Уральский глубинный разлом (офиолитовая формация), 6 – Тагило-Магнитогорская зона (вулканогенные формации океанической коры и островодужных систем), 7 – Восточно-Уральская зона (метаморфогенные формации микроконтинетов, островодужные вулканы, орогенные интрузивы); 8 – месторождения марганцевых пород; 9 – города.

Месторождения: 1 – Путьюское (D_3), 2 – Хэяхинское (D_3), 3 – Сибирчатаяхинское (D_3), 4 – Карское-1 (D_3), 5 – Карское-2 (D_3), 6 – Надейяхинское-1 (D_3), 7 – Надейяхинское-2 (D_3), 8 – Нижнесиловское (D_3), 9 – Силоваяхинское (D_3), 10 – проявления Собской площади (D_3-C_1), 11 – Верхнетышорское (R), 12 – Парнокское (O_{2-3} или D_2), 13 – Вэраю (R), 14 – Бурмантовское (K_2-Pa), 15 – Полуночное (K_2-Pa), 16 – Тыннинское (K_2-Pa), 17 – Екатеринбургское (K_2-Pa), 18 – Сапальское (S_2-D_1), 19 – Малоседелниковское (S_1), 20 – Кургановское (S_1), 21 – Бородулинское-1 (S_1), 22 – Бородулинское-2 (S_1), 23 – Афанасьевское (S_1), 24 – Октябрьское (S_1), 25 – Дмитриевское (S_1), 26 – Горнощитское (S_1), 27 – Змеиногорское (S_1), 28 – Гагарское (S_1), 29 – Александровское (S_1), 30 – Клевакинское (D_3), 31 – Улу-Телякское (P), 32 – Кожаевское (D_{2-3}), 33 – Тетраук (D_2), 34 – Уразовское (D_2), 35 – Учалинское (D_2), 36 – Габдимовское (D_2), 37 – Рахметовское (D_2), 38 – Биккуловское (D_{2-3}), 39 – Казган-Таш (D_{2-3}), 40 – Ниязгуловское-1 (D_{2-3}), 41 – Аюсазовское (D_2), 42 – Ниязгуловское-2 (D_2), 43 – Кусимовское (D_2), 44 – Ялимбетовское (D_2), 45 – Кызыл-Таш (D_{2-3}), 46 – Мамилинское (D_2), 47 – Губайдулинское (D_2), 48 – Янзигитовское (D_2), 49 – Южно-Файзулинское, южный участок (D_2), 50 – Южно-Файзулинское, северный участок (D_2), 51 – Средне-Файзулинское (D_2), 52 – Северо-Файзулинское (D_2), 53 – Акмурумское (D_3), 54 – Репино-Круторожинское (D), 55 – Бахтинское (D), 56 – Харьковское (O_{2-3}), 57 – Губерлинское (O_{2-3}), 58 – Кипчакское (C_1), 59 – Белоглинское (C_1), 60 – Арба-Елгинское (C_1), 61 – Аккермановское (C_1), 62 – Ново-Орское (C_1), 63 – Шигрышское (C_1), 64 – Зилаирское (D_2), 65 – Шуулдакское (D_2).

Fig. 1. Location of main manganese deposits of the Urals. Geological map, after V.N. Puchkov (2010).

1 – East European platform cover (ВЕП) and West Siberian plate cover (ЗСП) (carbonate, sandy-clayey and others rocks); 2–7 – lithotectonic (paleogeodynamic) zones of the Urals: 2 – Pre-Uralian foredeep (molasses complex), 3 – West Uralian zone (sedimentary complexes of passive continental margin), 4 – Central Uralian zone (metamorphic complexes of the basement), 5 – Main Uralian Fault (mélange, ophiolites), 6 – Tagil-Magnitogorsk zone (oceanic and island arc volcanic complexes), 7 – East Uralian zone (metamorphic complexes of microcontinent, volcanic complexes of active continental margin, orogenic intrusives), 8 – manganese deposits, 9 – towns.

Manganese deposits (numbers): 1 – Put'yus (D_3), 2 – Kheyakha (D_3), 3 – Sibirchatayakha (D_3), 4 – Karsk-1 (D_3), 5 – Karsk-2 (D_3), 6 – Nadeyyakha-1 (D_3), 7 – Nadeyyakha-2 (D_3), 8 – Nizhnyaya Silova (D_3), 9 – Silovayakha (D_3), 10 – occurrences of the Sob area (D_3-C_1), 11 – Upper Tyshor (R), 12 – Parnok (O_{2-3} or D_2), 13 – Verayu (R), 14 – Burmantovsk (K_2-Pa), 15 – Polunochnoe (K_2-Pa), 16 – Tyn'ynskoe (K_2-Pa), 17 – Yekaterinino (K_2-Pa), 18 – Sapal (S_2-D_1), 19 – Malosedelnikovo (S_1), 20 – Kurganovo (S_1), 21 – Borodulino-1 (S_1), 22 – Borodulino-2 (S_1), 23 – Afanas'evskoe (S_1), 24 – Oktyabr'skoe (S_1), 25 – Dmitrievskoe (S_1), 26 – Gornoshitskoe (S_1), 27 – Zmeinogorskoe (S_1), 28 – Gagarskoe (S_1), 29 – Alexandrovskoe (S_1), 30 – Klevakino (D_3), 31 – Ulutelyak (P), 32 – Kozhaevo (D_{2-3}), 34 – Urazovo (D_2), 35 – Uchaly (D_2), 36 – Gabdimovo (D_2), 37 – Rakhmetovo (D_2), 38 – Bikkulovo (D_{2-3}), 39 – Kazgan-Tash (D_{2-3}), 40 – Niyazgulovo-1 (D_{2-3}), 41 – Auysazovo (D_2), 42 – Niyazgulovo-2 (D_2),

43 – Kusimovo (D₂), 44 – Yalimbetovo (D₂), 45 – Kyzyl-Tash (D_{2,3}), 46 – Mamilino (D₂), 47 – Gubaydulino (D₂), 48 – Yanzigitovo (D₂), 49 – South Fayzuly, southern part (D₂), 50 – South Fayzuly, northern part (D₂), 51 – Middle Fayzuly (D₂), 52 – North Fayzuly (D₂), 53 – Akmurum (D₃), 54 – Repino-Krutorozhino (D), 55 – Bakhtino (D), 56 – Kharkovo (O_{2,3}), 57 – Guberlya (O_{2,3}), 58 – Kipchak (C₁), 59 – Beloglinskoe (C₁), 60 – Arba-Elga (C₁), 61 – Akkermanovo (C₁), 62 – Novo-Orsk (C₁), 63 – Shigrysh (C₁), 64 – Zilair (D₂), 65 – Shuuldak (D₂).

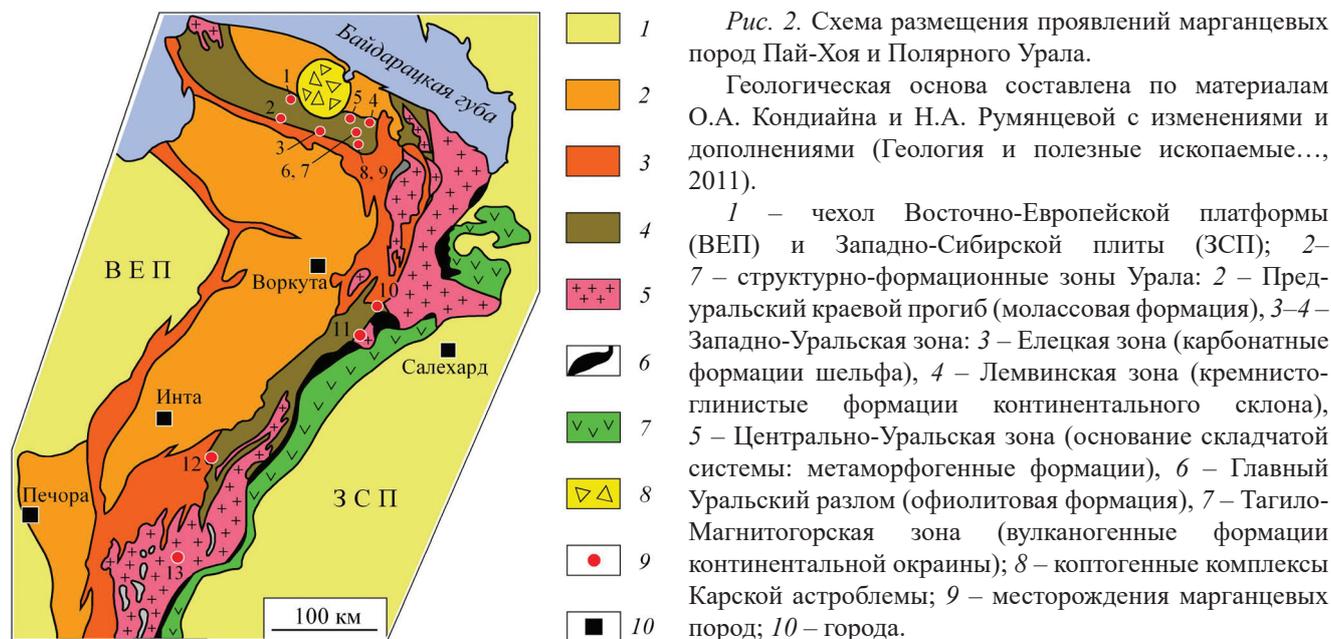


Рис. 2. Схема размещения проявлений марганцевых пород Пай-Хоя и Полярного Урала.

Геологическая основа составлена по материалам О.А. Кондияйна и Н.А. Румянцевой с изменениями и дополнениями (Геология и полезные ископаемые..., 2011).

1 – чехол Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и Западно-Сибирской плиты (ЗСП); 2–7 – структурно-формационные зоны Урала: 2 – Предуральский краевой прогиб (молассовая формация), 3–4 – Западно-Уральская зона: 3 – Елецкая зона (карбонатные формации шельфа), 4 – Лемвинская зона (кремнисто-глинистые формации континентального склона), 5 – Центрально-Уральская зона (основание складчатой системы: метаморфогенные формации), 6 – Главный Уральский разлом (офиолитовая формация), 7 – Тагило-Магнитогорская зона (вулканогенные формации континентальной окраины); 8 – коптогенные комплексы Карской астроблемы; 9 – месторождения марганцевых пород; 10 – города.

Fig. 2. Location of main manganese deposits of the Pai-Khoi and Polar Urals. Geological map, modified after O.A. Kondiayn and N.A. Rumyantseva (Geology..., 2011).

1 – East European platform cover (ВЕП) and West Siberian plate cover (ЗСП); 2–7 – lithotectonic zones of the Urals: 2 – Pre-Uralian foredeep (molasses complex), 3–4 – West Uralian zone: 3 – Elets zone (carbonate rocks of the shelf), 4 – Lemva zone (siliceous-clayey rocks of the continental slope), 5 – Central Uralian zone (metamorphic complexes of the basement), 6 – Main Uralian Fault (mélange, ophiolites), 7 – Tagil-Magnitogorsk zone (oceanic and island arc volcanic complexes); 8 – Karsky astrobleme, impact complexes; 9 – manganese deposits; 10 – towns.

на данной территории не обнаружено. Но участки марганцевой минерализации встречаются систематично, а общая площадь их развития достигает 60 км².

Парнокское месторождение является одним из самых крупных на Урале марганцеворудных объектов (Шишкин, Герасимов, 1995; Герасимов и др., 1999; Герасимов, 2000; Зыкин, 2004; Брусницын, 2013б; Брусницын и др., 2014). Оно было открыто в 1987 г. и с тех пор периодически разрабатывается (см. рис. 3д, е). Подробная информация о месторождении приведена в монографии А.И. Брусницына (2015), выставленной на сайте Российского минералогического общества в разделе «Новые книги».

Район месторождения сложен терригенно-карбонатными отложениями: известняками, алевролитами, песчаниками, кремнистыми, глинисто-кремнисто-карбонатными сланцами. Многие породы представлены углеродистыми разновидностями. Возраст рудоносных отложений вызывает дискуссии. По одним оценкам он датируется средним-верхним ордовиком (Шишкин, Герасимов, 1995), а по другим – средним девоном (Зыкин, 2004). На месторождении установлены марганцевые и железные породы (руды). Первые имеют сложный минеральный состав с преобладанием карбонатов и силикатов марганца. Вторые, напротив, чрезвычайно однородны – они практически нацело состоят из магнетита.

Таблица 1

Характеристика месторождений марганцевых пород Урала

Table 1

Characteristics of manganese deposits of the Urals

№*	Месторождение	Вмещающие породы	Возраст	Мета-мор-физм	Минеральный состав марганцевых пород	
					Тип	Главные минералы
<i>Локализованные в осадочных толщах пассивной палеоконтинентальной окраины (месторождения Пай-Хоя и Полярного Урала)</i>						
2	Хяжинское	Яшмы, углеродистые глинисто-карбонатно-кремнистые сланцы	D ₃	PP-GS	Ic	Кварц, кутнагорит
3	Сибирчатаяхинское	Яшмы, углеродистые глинисто-карбонатно-кремнистые сланцы	D ₃	PP-GS	Ic	Кварц, кутнагорит
4	Карское-1	Яшмы, углеродистые кремнистые сланцы	D ₃	PP-GS	Ia	Кварц, родохрозит
5	Карское-2	Яшмы, углеродистые кремнистые сланцы	D ₃	PP-GS	Ia	Кварц, родохрозит
6	Надейхинское-1	Глинисто-карбонатно-кремнистые сланцы	D ₃	PP-GS	IIe	Кварц, тефроит, сонолит, пирохромангит, фриделит, родохрозит, кутнагорит
6	Надейхинское-2	Яшмы	D ₃	PP-GS	IIg	Кварц, гематит, родонит, ортоклаз
7	Нижнесиловское	Яшмы, углеродистые глинисто-карбонатно-кремнистые сланцы	D ₃	PP-GS	Ic	Кварц, кутнагорит
7	Силоваяхинское	Глинисто-кремнистые сланцы	D ₃	PP-GS	IIe	Кварц, родонит, пирохромангит, фриделит, родохрозит
8	Собское	Углеродистые кремнистые и глинисто-кремнистые сланцы	D ₃ -C ₁	PP-GS	Ib	Кварц, родохрозит, сидерит, шамозит
10	Парнокское ¹	Углеродистые глинисто-кремнисто-карбонатные сланцы и известняки	O ₂₋₃ (D ₂ ?)	PP	IIe	Кварц, спессартин, пирохромангит, фриделит, родохрозит
<i>Локализованные в вулканогенно-осадочных толщах активной палеоконтинентальной окраины (месторождения Среднего и Южного Урала)</i>						
16	Малоседельниковское	Углеродистые глинисто-кремнистые сланцы, кварциты	S ₁	GS	IIf	Кварц, тефроит, сонолит, аллеганит, спессартин, родонит, пирохромангит, родохрозит
17	Кургановское	Углеродистые глинисто-кремнистые сланцы	S ₁	GS	IIf	Кварц, тефроит, спессартин, родонит, родохрозит
18	Бородулинское-1	Углеродистые глинисто-кремнистые сланцы, кварциты	S ₁	GS	IIf	Кварц, тефроит, сонолит, аллеганит, спессартин, родонит, родохрозит, кальцит
29	Кожавское	Джаспериты, яшмы	D ₂₋₃	PP	IIId	Гематит, тефроит, кариопилит, родохрозит
					IIe	родонит, альбит, родохрозит

Таблица 1 (продолжение)
Table 1 (continued)

№*	Месторождение	Вмещающие породы	Возраст	Метаморфизм	Минеральный состав марганцевых пород	
					Тип	Главные минералы
31	Уразовское	Джаспериты, яшмы, вулканомиктовые породы	D ₂	PP	IIg	Андрадит, эпидот, родонит, карнопилиит, кальцит
33	Габдимовское	Яшмы	D ₂	PP	IIIi	Кварц, эпидот, пьезонит Кварц, гематит, браунит
34	Биккуловское	Джаспериты, яшмы, вулканомиктовые породы	D ₂₋₃	PP	IIe	Гаусманнит, тефроит, карнопилиит, родохрозит Кварц, гематит, тефроит, андрадит, эпидот, пьезонит, пумпеллиит-Mg, родонит, карнопилиит, парсеттенсит, кальцит, родохрозит
34	Казган-Таш	Джаспериты, яшмы	D ₂₋₃	PP	IIe	Кварц, эпидот, пумпеллиит-Mg, пумпеллиит-Mn, парсеттенсит, кальцит
35	Аюсазовское, Ниязгуловское-2	Яшмы	D ₂	PP	IIIi	Кварц, гематит, браунит
36	Кусимовское	Яшмы	D ₂	PP	IIIj	Кварц, гематит, браунит Браунит, пьезонит, родонит, карнопилиит, парсеттенсит, кальцит
38	Кызыл-Таш	Джаспериты, яшмы	D ₂₋₃	PP	IIe	Гаусманнит, тефроит, карнопилиит, родохрозит, кунтагорит Кварц, гематит, тефроит, спессартин, андрадит, гроссулярь, эпидот, родонит, карнопилиит, кальцит, родохрозит
42	Южно-Файзулинское, (южный участок)	Джаспериты, яшмы, кремнистые сланцы	D ₂	PP	IIe	Гаусманнит, тефроит, аллеганит, риббит, карнопилиит, родохрозит
42	Средне-Файзулинское	Джаспериты, яшмы	D ₂	PP	IIg	Кварц, тефроит, аллеганит, риббит, спессартин, пироксмангит, карнопилиит, родохрозит
42	Южно-Файзулинское (северный участок)	Яшмы	D ₂	PP	IIIi	Кварц, гематит, андрадит, родонит
42	Северо-Файзулинское	Яшмы	D ₂	PP	IIIi	Кварц, гематит, браунит Кварц, гематит, браунит

Примечание. * – номера месторождений на схемах 1–3. Степень метаморфизма: PP – прениит-пумпеллиитовая фация, GS – зелёносланцевая фация. Минералогические типы марганцевых пород: «восстановленные»: I – карбонатный, II – оксидно-карбонатно-силикатный; «окисленные»: III – оксидно-силикатный (подразделение на группы a–j – смотри в тексте).¹ – для Парнокского месторождения приведены только минералы марганцевых руд, не приведены минералы тесно ассоциирующих с ними железных (магнетитовых) руд.

Notes. *, deposit numbers correspond to those in Figs. 1–3; metamorphic facies: PP, prehnite-pumpellyite; GS, green schist; mineral types of manganese rocks: «reduced» carbonate (I), oxide-carbonate-silicate (II), «oxidized» oxide-silicate (III) (see text for subdivision to groups a–j); ¹, for the Parnok deposit, minerals from manganese ores are shown only.



Рис. 3. Марганцевые месторождения Пай-Хоя и Полярного Урала.

a–b – проявление Надейяхинское-1 (фото 2010 г.): *a* – выходы марганценосных кремнистых сланцев в террасе на правом берегу р. Силовая; *b* – обнажение оксидно-карбонатно-силикатных марганцевых пород среди кремнистых сланцев; *в* – проявление Силоваяхинское (фото 2010 г.), обнажение слюдисто-кремнистых сланцев, вмещающих пласты марганцевых пород; *г* – проявление Нижнесиловское, пласт кутнагоритовых пород (1) в толще переслаивания яшм (2), микритовых известняков (3) и кремнистых сланцев (4). Видно «лестничное» строение марганценосного пласта обусловленное серией секущих пласт субпараллельных кварцевых жил; *д–e* – Парнокское месторождение (фото 2008 г.): *д* – вид законсервированного в 2006 г. карьера участка Магнитный-2; *e* – выходы окисленных с поверхности пластов карбонатных и оксидно-карбонатно-силикатных марганцевых пород (чёрные в центре кадра) среди известняков и глинисто-кремнисто-известковистых сланцев.

Fig. 3. Manganese deposits of the Pai-Khoi and Polar Urals.

a–b – Nadeyyakha-1 occurrence (photo of 2010): *a* – general view: middle reaches of the Silovaya River, terrace at the right banks – outcrops of manganese cherts, *b* – outcrop of oxide-carbonate-silicate manganese rocks (anticline) among cherts; *в* – Silovayakha occurrence (photo of 2010), outcrop of micaceous cherts with layers of manganese rocks; *г* – Nizhnyaya Silovaya occurrence, kutnahorite bed (1) among jaspers (2), micritic limestones (3) and cherts (4) with clearly visible «ladder» structure of the manganese bed caused by a series of transverse parallel quartz veins; *д* and *e* – Parnok deposit (photo of 2008): *д* – general view of exploited Magnitny-2 area of 2006; *e* – outcrops of oxidized layers of carbonate and oxide-carbonate-silicate manganese rocks (black in the center) among the limestones and clayey-siliceous-calcareous.

В разрезе месторождения марганцевые и железные руды слагают чередующиеся друг с другом пласты и лентовидные тела, согласно залегающие в углеродистых сланцах и известняках. Размер отдельных пластов 0.5–2 м при мощности до 100 м по простиранию. Сближенные пласты группируются в залежи мощностью до 20 м и протяженностью до 400 м. Цепочки залежей вытягиваются на расстояние до 4 км.

Установленная на Пай-Хое и Полярном Урале ассоциация марганцевых пород с чёрными сланцами типична и для многих других регионов (Рой, 1986; Huckriede, Meischner, 1996; Calvert, Pedersen, 1996; Холодов, Недумов, 2011; и др.). Она свидетельствует о накоплении металлоносных осадков в условиях периодически изменяющихся окислительно-восстановительных характеристик придонных вод. Анаэробные обстановки благоприятны для накопления в осадке органического вещества, а аэробные – железа и марганца. При этом источники металлов могут быть разными: гидротермальные растворы, иловые диагенетические воды, речной сток и т.п. В случае с месторождениями Пай-Хоя и Полярного Урала наиболее популярны представления о гидротермальной поставке марганца (Микляев, 1991; Шишкин, Герасимов, 1995; Юдович др., 1998; Брусницын, 2013б, 2015; Старикова, 2014). Согласно им, марганец привносился в морской бассейн гидротермальными растворами, циркулирующими в толще палеозойских осадков. Причём, вероятнее всего, гидротермальная система была активизирована кратковременным обновлением тектоно-магматических процессов в фундаменте осадочных формаций. Не исключено, что некоторые объекты сформировались без участия гидротермальных растворов. В частности для рудопроявлений долины реки Сось предложена седиментогенно-диагенетическая модель генезиса (Брусницын, 2014).

В позднепалеозойскую–раннемезозойскую эпоху складчатости осадочные толщи были интенсивно деформированы. Тектонические процессы сопровождались региональным метаморфизмом пород в условиях низких температур и давлений. Параметры метаморфизма пород Парнокского месторождения соответствуют пренит-пумпеллитовой фации $T = 200\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2\text{--}2.7$ кбар (Герасимов, 2000; Брусницын, 2015). Для района реки Сось и Пай-Хоя степень метаморфизма не превышала PT -уровня зелёносланцевой фации (Старикова, 2011). На всех месторождениях локально развита мезо-кайнозойская зона окисления, сложенная преимущественно оксидами и гидроксидами марганца.

Месторождения в вулканогенных толщах.

Марганцевые породы Среднего и Южного Урала по условиям залегания и химическому составу сопоставимы с гидротермальными отложениями вулканически активных структур современного океана. На этом основании они относятся к объектам гидротермально-осадочного типа (Херасков, 1951; Гаврилов, 1972; Калинин, 1978; Серков, 1989; Контарь и др., 1999; Брусницын, 2000, 2013а; Михайлов, 2001; Брусницын, Жуков, 2010; Brusnitsyn, Zhukov, 2012).

Месторождения Среднего Урала. В районе г. Екатеринбурга известно 11 месторождений марганцевых пород (Киевленко, Сенкевич, 1983; Серков, 1989; Голдобин, 1994; Брусницын, 1998, 2000). Самое известное из них – Малоседельниковское –

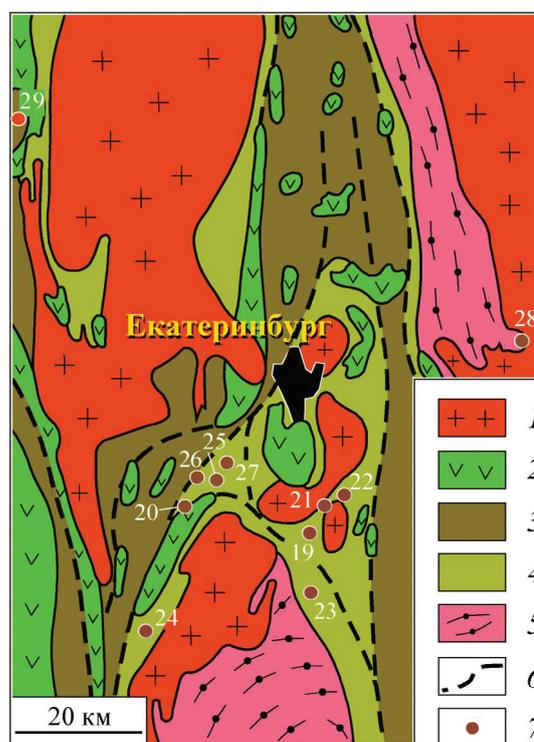


Рис. 4. Схема размещения месторождений марганцевых пород на Среднем Урале (геологическая основа по А.Н. Серкову, 1989).

1 – граниты (PZ₃), 2 – апогаббровые амфиболиты (D_{2,3}), 3 – вулканиты среднего состава (S–D), 4 – зелёные сланцы (O–S), 5 – гнейсы (PR), 6 – главные разломы, 7 – месторождения марганцевых (родонитовых) пород (см. рис. 1).

Fig. 4. Location of main manganese deposits of the Central Urals after A.N. Serkov (1989).

1 – granites (PZ₃), 2 – amphibolites after gabbro (D_{2,3}), 3 – intermediate volcanic rocks (S–D), 4 – green schists (O–S), 5 – gneisses (PR), 6 – faults, 7 – manganese (rhodonite) deposits (see figure 1).

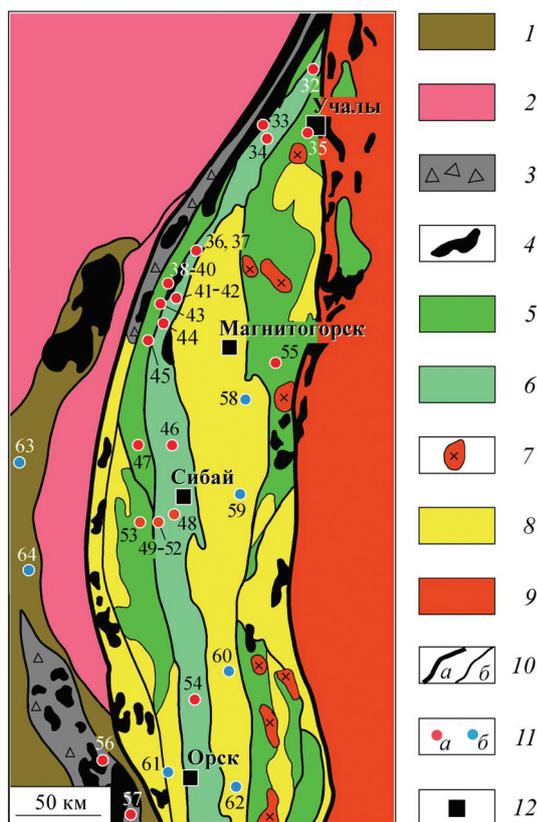


Рис. 5. Схема размещения месторождений марганцевых пород Южного Урала.

Составлена по материалам В.В. Зайкова (1991, 2006), Е.С. Контаря и др. (1999), И.Г. Жукова (2002), воспроизводится по Е.В. Стариковой и др., 2004.

1 – Западно-Уральская зона (осадочные формации пассивной континентальной окраины O-P); 2 – Центрально-Уральская зона (метаморфогенные формации основания складчатой системы PR); 3 и 4 – Главный Уральский глубинный разлом: 3 – меланж-олистоостромовая офиолитовая формация, 4 – дунит-перидотитовая формация; 5–8 – Магнитогорская зона: 5 – островодужные вулканогенные формации ($D_{2,3}$), 6 – вулканогенные и вулканогенно-осадочные формации междугового (затупового) бассейна ($D_{2,3}$), 7 – граниты (PZ_3), 8 – осадочные формации чехла молодой платформы (D_3-C_2); 9 – Восточно-Уральская зона (PZ_2); 10 – границы: а – Магнитогорской зоны, б – структурно-формационных подразделений 2-го порядка; 11 – месторождения марганцевых пород: а – локализованные в вулканогенно-осадочных толщах, б – локализованные в осадочных толщах; 12 – города.

Fig. 5. Location of main manganese deposits of the South Urals after Zaykov (1991, 2006), Kontar et al. (1999), Zhukov (2002), Starikova (2004).

Lithotectonic (paleogeodynamic) zones of the Urals: 1 – West Uralian zone (sedimentary complexes of passive continental margin O-P), 2 – Central Uralian zone (metamorphic complexes of the basement, PR), 3–4 – Main Uralian Fault: (mélange, ophiolites), 5–8 – Magnitogorsk zone: 5 – island arc volcanic complex ($D_{2,3}$), 6 – volcanic

and volcanosedimentary complexes of inter-arc (back-arc) basin ($D_{2,3}$), 7 – granites (PZ_3), 8 – sedimentary complexes of young platform cover (D_3-C_2); 9 – East Uralian Zone (PZ_2); 10 – boundaries of: а – Magnitogorsk zone, б – lithotectonic units of the second order; 11 – manganese deposits hosted by: а – volcanosedimentary rocks, б – sedimentary rocks; 12 – towns.

было открыто в конце XVIII века и почти 200 лет – до 1990-х годов – разрабатывалось на поделочный камень («родонит», «орлец»). Именно здесь добывался материал, создавший славу уральскому родониту. Из него изготовлены знаменитые вазы, обелиски и торшеры Эрмитажа, саркофаг императрицы Марии Александровны в Петропавловском соборе Санкт-Петербурга и многие другие произведения искусства. Глыба малоседельниковского родонита установлена в центральном парке Екатеринбурга как один из символов богатств недр Урала. На Среднем Урале во второй половине XX века эксплуатировались Кургановское и Бородулинское месторождения поделочного родонита. К сожалению, все три объекта сейчас засыпаны и недоступны для посещения. Источником поступающего на рынок и для исследований цветного камня являются «старые запасы». Остальные объекты этого региона не представляли экономического интереса.

Месторождения расположены в пределах Восточно-Уральской структурно-формационной зоны. Марганцевоносными являются вулканогенно-осадочные отложения силура, опоясывающие массивы докембрийских метаморфических пород (рис. 4). В районе месторождений присутствуют верхнепалеозойские интрузивы основного и кислого составов. Марганцевые породы сосредоточены в кварцитах и кварцевых сланцах (мусковит-кварцевых, хлорит-кварцевых, углеродисто-кварцевых и т.п.). На месторождениях встречаются уплощённо-линзовидные тела марганцевых пород. В результате механических деформаций (будинажа), изначально линзовидные залежи часто разделены на несколько самостоятельных фрагментов эллипсоидальной или изометричной формы. Размер отдельных тел не превышает 4 м по мощности при длине от 10 до 30 м. Общая же протяжённость марганцевоносных пачек составляет до 500 м.

Среди изученных нами объектов месторождения Среднего Урала относятся к наиболее сильно метаморфизованным. Параметры регионально-го метаморфизма здесь соответствуют верхней границе зелёносланцевой фации: $T = 450-500$ °C,

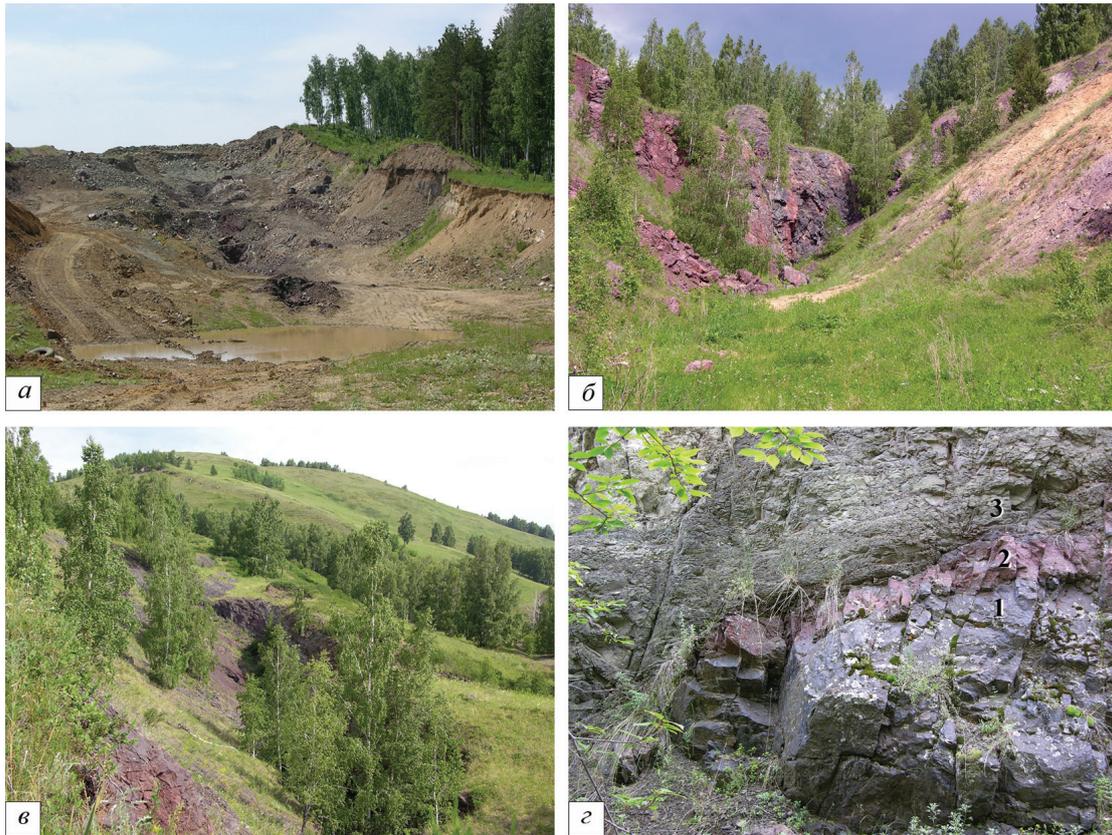


Рис. 6. Вид карьеров марганцевых месторождений Южного Урала.

а – Кожаяевское месторождение – панорама рудной зоны (темная диагональная полоса в центре кадра) после завершения горных работ в 2006 г.; *б* – Уразовское месторождение, отработанное к концу 1940-х годов (фото 2005 г.): красные породы – джаспериты, чёрные в центре кадра – слабо окисленные оксидно-карбонатно-силикатные марганцевые породы, светло-фиолетовые (справа) – переслаивание кварц-пьемонтитовых алевролитов и туффитов; *в-г* – Биккуловское месторождение, частично отработанное к концу 1940-х годов (фото 2006 г.): *в* – общий вид (с юга), *г* – фрагмент стенки в южной части карьера: пласт оксидно-карбонатно-силикатных марганцевых пород (1) перекрывается железно-кремнистыми туффитами (2) и вулканомиктовыми песчаниками (3) улутауской свиты.

Fig. 6. View of open pits of Mn deposits of the South Urals.

а, Kozhaevo deposit: a view of the ore zone (dark diagonal band in the frame center) after termination of mining works in 2006; *б*, Urazovo deposit exploited by the end of the 1940s (photo of 2005): red rocks – jasperites, black rocks in the frame center – weakly oxidized oxide-carbonate-silicate Mn rocks, light violet (to the right) – intercalation of quartz-piemontite siltstones and tuffites; *в-г* – Bikkulovo deposit partly mined by the end of the 1940s (photo of 2006): *в* – general view (from the south), *г* – fragment of the wall in the southern part of an open pit: a bed of oxide-carbonate-silicate Mn rocks (1) overlapped by ferruginous-siliceous tuffites (2) and volcanomictic sandstones (3) of the Ulutau Formation.

$P = 2-3.5$ кбар (Серков, 1989; Брусницын, 2000; Перова, 2004).

Месторождения Южного Урала. В пределах девонских вулканогенных толщ Южного Урала со второй половины XIX века выявлено более 80 небольших по запасам месторождений марганцевых пород (рис. 5). Они хорошо известны специалистам (Бетехтин, 1946; Херасков, 1951; Страхов и др., 1968; Гаврилов, 1972; Варенцов, Рахманов, 1978; Калинин, 1978; Рой, 1986; Михайлов, 2001; Овчинников, 1998; Контарь и др., 1999; Салихов и др., 2002; Брусницын, Жуков, 2010; Брусницын,

2013a). Некоторые из этих месторождений (Уразовское, Кызыл-Таш, Биккуловское, Кусимовское, Южно-Файзулинское и др.) в начале XX века разрабатывались на марганцевые руды, но к концу 1940-х годов эти работы были остановлены (Бетехтин, 1946). На Кожаяевском, Южно- и Северо-Файзулинских и Биккуловском месторождениях попытки добычи руды вновь осуществлены в период с 1997 по 2007 гг., но эти работы признаны нерентабельными. На Южно-Файзулинском месторождении марганцевые породы добывались также как декоративный камень. Все перечисленные месторождения легко-



Рис. 7. Файзулинская группа марганцевых месторождений Южного Урала.

а-б – карьер Южно-Файзулинского месторождения, работы остановлены в 2007 г. (фото 2006 г.): *а* – вулканомиктовые отложения улутауской свиты, (бежевые породы слева, в борту карьера), марганценовые кремнистые алевролиты бугульгырского горизонта (серые, в центре кадра), яшмы и джаспериты бугульгырского горизонта (красные, справа); *б* – наклонно залегающий пласт марганцевых пород, распиленный при добыче цветного камня; *в-г* – карьер Северо-Файзулинского месторождения, работы остановлены в 2006 г.: *в* – сургушно-красные яшмы рудоносного бугульгырского горизонта (фото 2006 г.); *г* – пласт браунитовых пород в яшмах (фото 2002 г.).

Fig. 7. Fayzuly group of Mn deposits of the South Urals.

а-б – open pit of the South Fayzuly deposit, the works at which were finished in 2007 (photos of 2006): *а* – general view: beige rocks in the left are volcanomictic sediments of the Ulutau Formation, gray rocks in the center – siliceous Mn siltstones of the Bugulygyr Horizon, red rocks in the right – jaspers and jasperites of the Bugulygyr Horizon; *б* – inclined manganese layer; *в-г* – open pit of the North Fayzuly deposit, the works at which were finished in 2006: *в* – wax-red jaspers of the ore-bearing Bugulygyr Horizon (photo of 2006); *г* – layer of braunite rocks concordant with jaspers (photo of 2002).

доступны, пока ещё хорошо обнажены, являются прекрасными объектами для геологических экскурсий и сбора образцов (рис. 6, 7). Они должны рассматриваться как минералогические памятники России. Информация о месторождениях приведена в монографии А.И. Брусницына (2013а), выставленной на сайте Российского минералогического общества в разделе «Новые книги».

Месторождения приурочены к вулканогенно-осадочным толщам среднего-верхнего девона, сформированным на завершающих стадиях развития андезит-базальтовых и риолит-базальтовых комплексов. В вулканогенно-осадочных толщах широко развиты кремнистые породы – джаспе-

риты, яшмы, кремнистые алевролиты и туффиты. Среди них особо выделяются джаспериты. Это гематит-кварцевые породы глобулярной, колломорфной или сферолитовой структур, обычно брекчиевидной текстуры. Большинство исследователей джаспериты рассматриваются как литифицированные аналоги железо-кремнистых отложений, формирующихся на поверхности морского дна в местах просачивания низкотемпературных растворов (Херасков, 1951; Crear et al. 1982; Зайкова, Зайков, 2003; Grenne, Slack, 2003; Брусницын, 2013а). На многих месторождениях (Кызыл-Таш, Казган-Таш, Уразовское, Кожаевское, Южно- и Средне-Файзулинское, Биккуловское) марганцевые породы тес-

но ассоциируют с джасперитами, слагая с ними единые залежи. Такая ассоциация служит одним из признаков накопления металлоносных осадков вблизи гидротермальных источников (Брусницын, Жуков, 2010; Brusnitsyn, Zhukov, 2012; Брусницын, 2013a). На других месторождениях (Кусимовское, Южно-Файзулинское (северный участок), Северо-Файзулинское, Аюсазовское, Габдимовское и др.) марганцевые породы залегают в отрыве от джасперитов внутри пачек яшм. Предполагается, что в этих случаях накопление марганцевых осадков происходило на удалении от зон разгрузки гидротерм (Брусницын, 2013a).

Во всех случаях марганцевые породы слагают линзовидные или пластообразные тела, согласно залегающие в кремнистых отложениях, а также в вулканомиктовых песчаниках и туффитах. Максимальный размер залежей марганцевых пород составляет до 2.5 м мощностью и до 450 м по простиранию. По своим геохимическим особенностям (распределению главных, редких и редкоземельных элементов) марганцевые породы Южного Урала близки к современным гидротермальным осадкам (Брусницын и др., 2013).

Во временном интервале от верхнего девона до нижнего карбона включительно вулканогенно-осадочные толщи испытали региональный метаморфизм погружения при $T = 200\text{--}250$ °С, $P = 2\text{--}3$ кбар (Брусницын, Жуков, 2010; Брусницын, 2013a). Позднее они были деформированным в период карбон-пермской коллизии. Мезо-кайнозойские гипергенные процессы на месторождениях проявлены локально.

Строение и минеральный состав марганцевых пород

Метаманганолиты Урала – это микро- и мелкозернистые породы (средний размер зёрен 10–50 мкм) неоднородного состава и строения (рис. 8–10). В них хорошо сохраняются типично седиментогенно-диагенетические текстуры и структуры: слоистые и линзовидно-полосчатые (реликтово-слоистые), сноповидные, пелитоморфные, колломорфные, глобулярные, сферолитовые, местами реликтовые органогенные и др. Присутствуют также участки пятнистого и более или менее однородного массивного строения. Отдельные слои обычно имеют мощность от 5 до 15 мм и различаются качественным и/или количественным минеральным составом. Иногда слои разделены тонкими стилолитовыми

швами, заполненными тонкодисперсным углистым веществом. Пятнистые текстуры, по крайней мере, в части случаев, можно интерпретировать как преобразованные фрагменты желваковых (конкреционных) горизонтов металлоносных отложений. Вместе с тем, в породах проявлены также и следы механических деформаций: смещение слоев друг относительно друга, тонкая складчатость, плейчатость, будинаж, брекчирование, развитие блоков с прожилково-сетчатой текстурой, создаваемой сериями сегрегационных прожилков.

В составе марганцевых пород Урала методами оптической и электронной микроскопии, рентгенофазового и микрозондового анализа ранее диагностировано 112 минералов (табл. 2). Они имеют очень неравномерное распространение. Даже в пределах одной залежи количественные соотношения минералов могут варьировать в широких пределах. В среднем на отдельном месторождении диагностируется около 25–30 минералов, из которых 3–8 относятся к породообразующим (каждый составляет не менее 5 % от объема породы), а остальные являются второстепенными (1–5 об. %) и акцессорными (< 1 об. %) фазами. К числу наиболее распространенных породообразующих минералов относятся кварц, тефроит, спессартин, родонит, пироксмангит, кариопилит (и/или фриделит), марганцевый кальцит и родохрозит. Кроме того, на некоторых месторождениях в качестве главных минералов присутствуют также гематит, гаусманнит, браунит, марганцевые гумиты (сонолит, аллеганит, риббеит), андрадит, минералы группы эпидота (марганцевый эпидот, пьомонтит), парсеттенсит, кутнагорит, марганцевый сидерит. Среди типичных второстепенных минералов отметим манганаксинит, минералы из группы хлорита (марганцевые клинохлор и шамозит, пеннантит) и стильпноелан. Иногда к ним добавляются калиевый полевой шпат и альбит, марганцевые пироксены, амфиболы и слюды. Наиболее характерные акцессорные минералы – это алабандин, пирит, пирофанит, магнетит, неотокит, цельзиан, барит и апатит.

Среди минералов метаманганолитов преобладают силикаты – примерно 50 % от общего числа видов. Большинство породообразующих минералов являются силикатами. Следующими по числу видов являются сульфиды – 19 %, но все они относятся к акцессорным фазам. На третьем месте находятся оксиды – 12 % от общего числа видов. Среди них есть как породообразующие (кварц, гематит и гаусманнит), так и более редкие минералы.

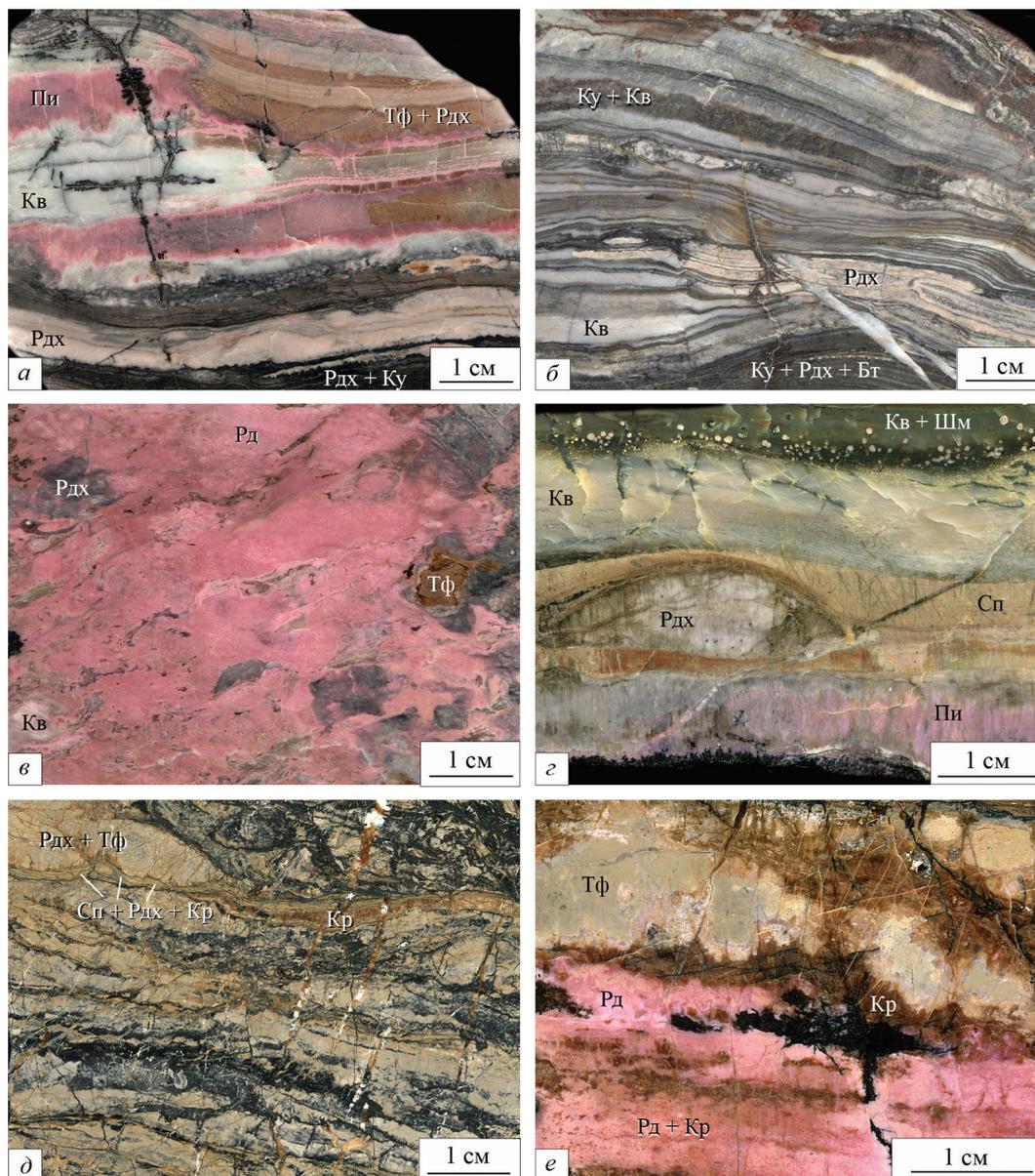


Рис. 8. Марганцевые породы Пай-Хоя и Полярного Урала.

a – полосчатая тейфроит-родохрозит-пироксмангит-кварцевая порода; *б* – полосчатая родохрозит-кутнагорит-кварцевая порода; *в* – родонитовая порода комковатой структуры; *г* – линзовидно-полосчатая спессартин-пироксмангит-родохрозит-кварцевая порода; *д* – неясно-полосчатая кариопилит-тейфроит-родохрозитовая порода; *е* – полосчатая тейфроит-кариопилит-родонитовая порода.

Минералы: Кв – кварц, Тф – тейфроит, Сп – спессартин, Рд – родонит, Пи – пироксмангит, Кр – кариопилит, Бт – биотит, Рдх – родохрозит, Ку – кутнагорит.

Месторождения: *a* и *б* – Надейяхинское-1, *в* – Силоваяхинское, *г* – проявления доли реки Сось (участок Придорожный), *д* и *е* – Парнокское. Полированные образцы.

Fig. 8. Manganese rocks of the Pai-Khoi and Polar Urals.

a – banded tephroite-rhodochrosite-pyroxmangite-quartz rocks; *б* – banded rhodochrosite-kutnahorite-quartz rock; *в* – clumpy rhodonite rock; *г* – lenticular layered spessartine-pyroxmangite-rhodochrosite-quartz rocks; *д* – vaguely banded kario-pilite-tephroite-rhodochrosite rock; *е* – banded tephroite-kario-pilite-rhodonite rock.

Minerals: Кв – quartz, Тф – tephroite, Сп – spessartine, Рд – rhodonite, Пи – pyroxmangite, Кр – caryopilite, Бт – biotite, Рдх – rhodochrosite, Ку – kutnahorite.

Manganese deposits: *a* and *б* – Nadeyyakha-1; *в* – Silovayakha; *г* – occurrences of the Sob River area; *д* and *е* – Parnok. Polished samples.

Карбонаты составляют 7 % от числа минералов, но среди них доминируют породообразующие фазы (кальцит, родохрозит, кутнагорит и сидерит).

В марганцевых породах Урала установлено несколько новых и редких минералов. Так, высокомарганцевый и безжелезистый аксинит был открыт Г.П. Барсановым в 1951 году в породах Кожаевского месторождения на Южном Урале (Барсанов, 1951). Г.П. Барсанов назвал изученный минерал «севергинитом». Позднее Международная комиссия по новым минералам признала данный термин излишним и утвердила название «манганаксинит», а затем ещё раз переименовала его в «аксинит-Mn». Гидратированный оксид марганца (IV) – вернадит – как новый минерал открыт в зоне окисления Кусимовского месторождения (Бетехтин, 1937). Такие минералы как галаксит, сонолит, аллеганит, риббеит, гейтманит, феррихристовит, келлиит, ширцулит, кумбсит и суссексит в России впервые найдены в марганцевых породах Урала. Интересно, что три из них (сонолит, аллеганит и риббеит) относятся к породообразующим минералам широко известных месторождений (например, Малоседельниковского), но долгое время оставались «незамеченными» исследователями. Среди редких минералов заслуживают внимание недавние находки на Кожаевском месторождении джонбаумита, свабита и арсенатов марганца.

По набору главных минералов марганцевые породы Урала делятся на три типа: I) карбонатные, II) оксидно-карбонатно-силикатные и III) оксидно-силикатные. В первом типе главными носителями марганца являются карбонаты, во втором – разнообразные силикаты Mn^{2+} в ассоциации с оксидами и карбонатами, в третьем – силикат Mn^{3+} браунит. Из-за различий в доминирующей степени окисления марганца, породы I и II типа иногда называют «восстановленными», а III – «окисленными» (Mottana, 1986; Брусницын, 2007). Каждый из трёх типов объединяет несколько минералогических разновидностей пород, между которыми возможны взаимные переходы. Так, по преобладающему минералу марганца в I типе выделяются: а) родохрозитовые, б) сидерит-родохрозитовые и в) кутнагоритовые породы. Оксидно-карбонатно-силикатные породы удобно разделить на пять групп (d–h). Породы группы (d) сложены преимущественно гаусманнитом, родохрозитом и тефроитом. Здесь же могут присутствовать пирохроит, гумиты, кариопилит, кальцит, кутнагорит и др. В группу (e) включены породы, состоящие из силикатов (теф-

роита, родонита, пироксмангита, кариопилита и/или фриделита, минералов групп гумита, граната и эпидота и др.), кварца, родохрозита и кальцита. Породы группы (f) близки породам группы (e), но не содержат кариопилита и/или фриделита. В составе пород групп (g) и (h) отсутствуют оксиды марганца и тефроит, а родохрозит если и наблюдается, то лишь как редкий минерал. В группе (g) доминирующими минералами являются кварц и родонит, а в группе (h) – кварц и марганцевый эпидот и/или пьомонтит. Оксидно-силикатные породы делятся на две группы, состоящие из: i) кварца, гематита и браунита; j) браунита, родонита, пьомонтита, кариопилита и кальцита.

Образование различных минеральных ассоциаций марганцевых пород (a–j) контролируется химическим составом исходных металлоносных отложений, а также условиям их захоронения и метаморфизма. Подробнее этих вопросы мы рассмотрим в следующем разделе.

Минеральный состав марганцевых пород, локализованных в осадочных и вулканогенно-осадочных формациях, имеет много общего. Тем не менее, намечаются и различия. Прежде всего, в осадочных отложениях нет марганцевых пород, содержащих браунит. Кроме того, для пород осадочных толщ типичны галенит, сфалерит, циркон, фриделит, стильпномелан, калиевый полевой шпат, сидерит, марганцевый доломит и минералы церия (алланит, феррихристовит, монацит, цериевый карбонат). Для марганцевых пород вулканогенно-осадочных толщ перечисленные минералы не столь характерны. В них более распространены гематит, андрадит, гроссуляр, титанит, эпидот, пьомонтит, минералы группы пумпеллиита, натриевые пироксены и амфиболы.

Характеристика особенностей ассоциации, морфологии, физических свойств, химического состава и рентгенографии минералов марганцевых пород Урала приведены в специальных публикациях (Брусницын, 1998, 2000, 2009, 2013a, 2015; Старикова и др., 2004; Старикова, 2011, 2014).

Марганцевые породы некоторых месторождений Урала обладают высокими декоративными качествами. Свообразным «эталоном» уральского «родонита» служит камень из месторождений Среднего Урала, прежде всего, Малоседельниковского. Характерной особенностью среднеуральского родонита является ведущий, доминирующий при восприятии, малиновый цвет камня, оттенки которого на каждом месторождении разные (см. рис. 9). Поро-

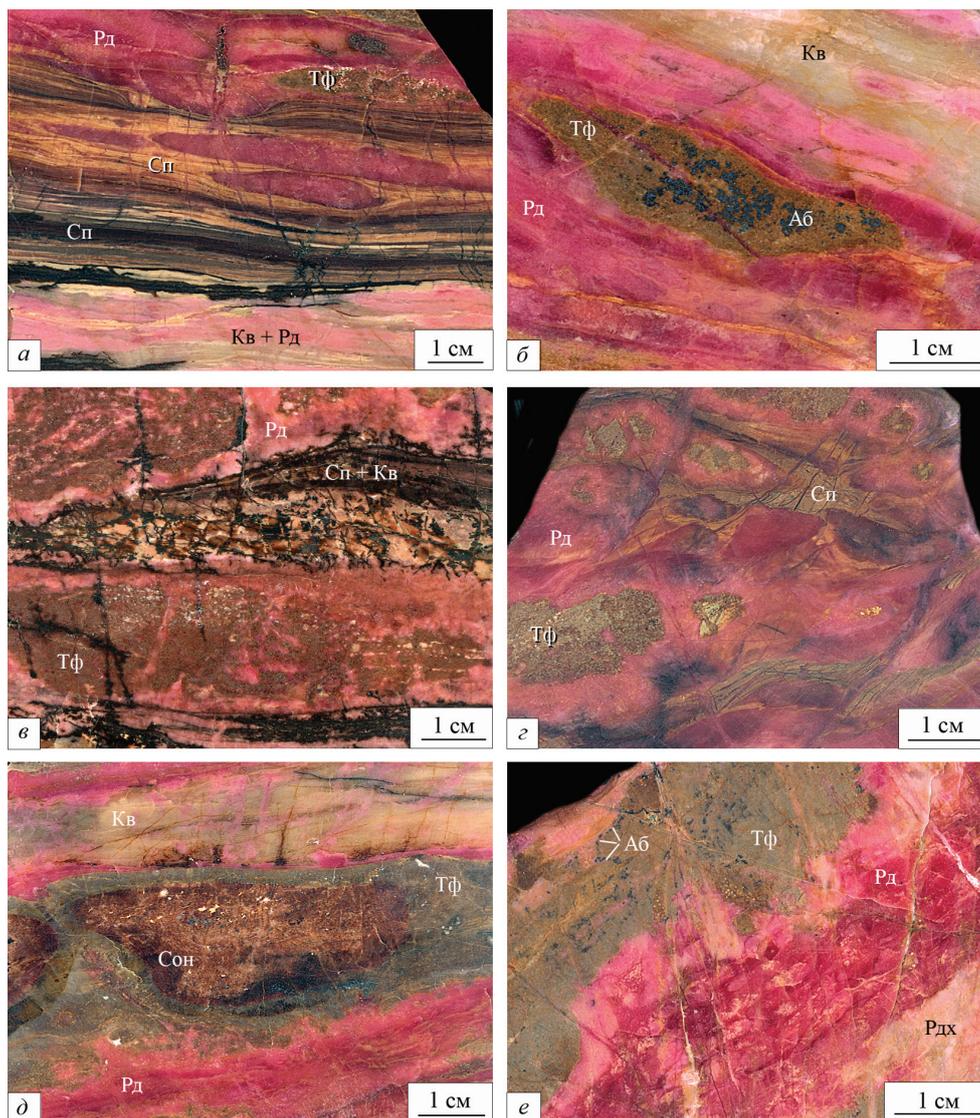


Рис. 9. Наиболее типичные марганцевые породы Среднего Урала («родонит» или «орлец»).

a – линзовидно-слоистая кварц-спессартин-родонитовая порода; *б* – включения алабандина (чёрный) в тейфроитовой линзе (коричневая) в массе полосчатой кварц-родонитовой породы (малиновая); *в* – замещение тейфроитовой линзы (бежевая) родонитом (розовый), чёрные просечки – гипергенные оксиды марганца; *г* – механически деформированная (будинированная) спессартин-тейфроит-родонитовая порода; *д* – изометричное обособление сонолита ± родохрозит (коричневое) в тейфроитовом слое (серый), чередующимся со слоями родонита (малиновый) и кварца (жёлтый); *е* – родохрозит-тейфроит-родонитовая порода.

Минералы: Аб – алабандин, Кв – кварц, Тф – тейфроит, Сон – сонолит, Сп – спессартин, Рд – родонит, Рдх – родохрозит.

Месторождения: *a, в, д* – Малоседельниковское, *б, г* – Бородулинское-1, *е* – Кургановское. Полированные образцы.

Fig. 9. Most typical manganese rocks of the Central Urals (rhodonite or orletz).

a – lenticular layered quartz-spessartine-rhodonite rock; *б* – inclusions of alabandine (black) in tephroite lens (brown) within the banded quartz-rhodonite rock (crimson); *в* – replacement of tephroite lenses (beige) by rhodonite (pink), black veinlets - supergene manganese oxides; *г* – deformed (boudinaged) spessartine-tephroite-rhodonite rock; *д* – isometric aggregate of sonolite ± rhodochrosite (brown) in the tephroite layer (gray) alternated with layers of rhodonite (crimson) and quartz (yellow); *е* – rhodochrosite-tephroite-rhodonite rocks.

Minerals: Аб – alabandine, Кв – quartz, Тф – tephroite, Сон – sonolite, Сп – spessartine, Рд – rhodonite, Рдх – rhodochrosite.

Deposits: (*a, в, д*) Malosedelnikovo, (*б, г*) Borodulino-1, (*е*) Kurganovo. Polished samples.

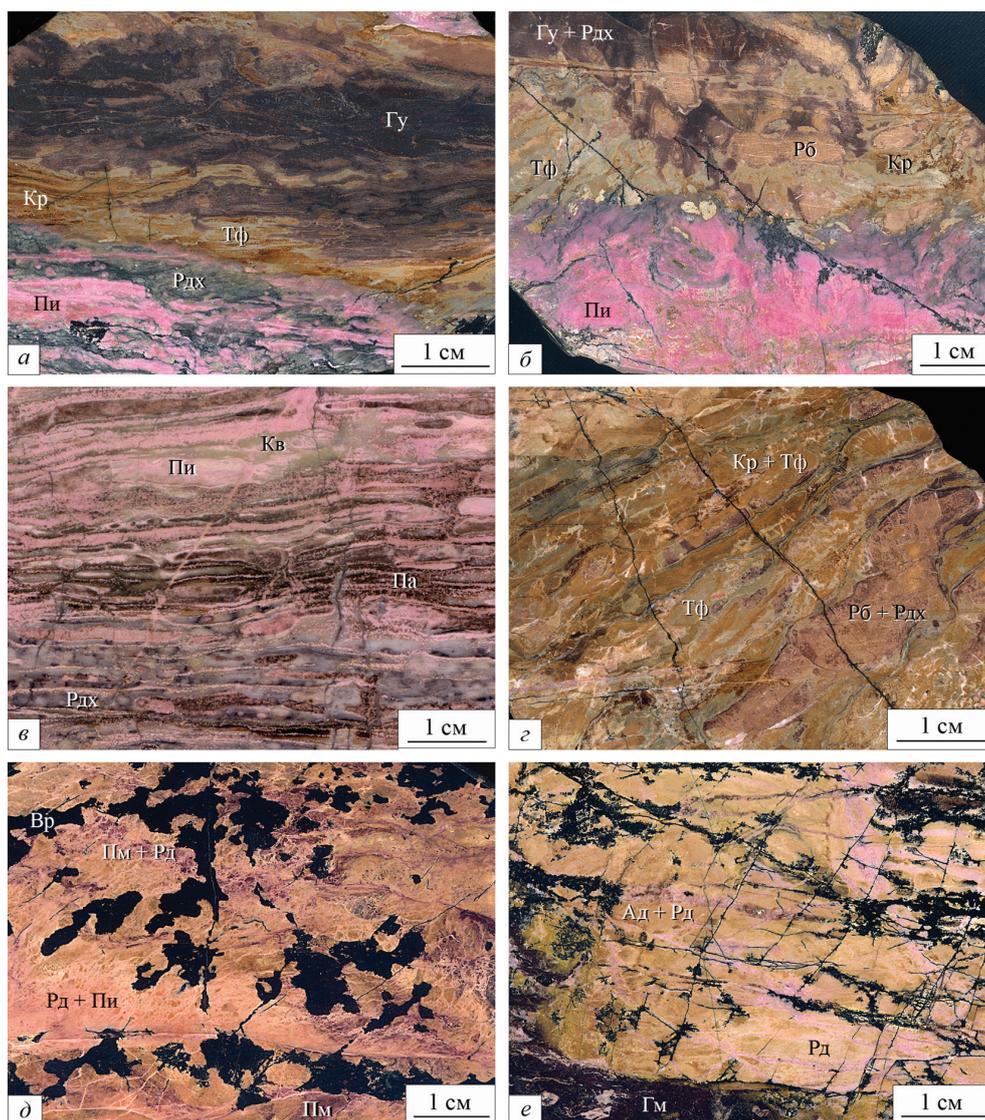


Рис. 10. Марганцевые породы Южного Урала.

a – замещение агрегата гаусманнита, тейфрита и кариопилита (неоднородно окрашенный коричнево-серый) пироксмангитом (малиновый) и родохрозитом (серый); *б* – замещение агрегата гаусманнита, тейфрита и родохрозита (пёстрый коричнево-серый) пироксмангитом (малиновый); *в* – тонко-полосчатая родохрозит-пироксмангит-кварцевая порода с парсеттенситом (коричневый); *г* – линзовидно-полосчатая кариопилит-риббеит-родохрозит-тейфритовая порода; *д* – включения пьемонтита (малиновый) в пироксмангит-родонитовой массе (розовая), чёрные обособления – гипергенный вернадит; *е* – андрадит-родонитовая порода, чёрные просечки – гипергенные оксиды марганца.

Минералы: Кв – кварц, Гм – гематит, Гу – гаусманнит, Вр – вернадит, Тф – тейфрит, Рб – риббеит, Ад – андрадит, Пм – пьемонтит, Рд – родонит, Пи – пироксмангит, Кр – кариопилит, Па – парсеттенсит, Рдх – родохрозит.

Месторождения: *a–г* – Южно-Файзулинское, *д* – Кусимовское, *е* – Кызыл-Таш. Полированные образцы.

Fig. 10. Manganese rocks of the Southern Urals.

a – replacement of hausmannite, tephroite and caryopilite aggregate (brown-gray) by pyroxmangite (crimson) and rhodochrosite (gray); *б* – replacement of hausmannite, tephroite and rhodochrosite aggregate (brown-gray) by pyroxmangite (crimson); *в* – thin banded rhodochrosite-pyroxmangite-quartz rocks with parsettensite (brown); *г* – lenticular layered caryopilite-ribbeite-rhodochrosite-tephroite rocks; *д* – inclusion of piemontite (crimson) in pyroxmangite-rhodonite aggregate (pink), black spots – supergene vernadite; *е* – andradite-rhodonite rocks, black veinlets – supergene manganese oxides.

Minerals: Кв – quartz; Гм – hematite, Гу – hausmannite, Вр – vernadite, Тф – tephroite, Рб – ribbeite, Ад – andradite, Пм – piemontite, Рд – rhodonite, Пи – pyroxmangite, Кр – caryopilite, Па – parsettensite, Рдх – rhodochrosite.

Deposits: (*a–г*) South Fayzuly, (*д*) Kusimovo, (*е*) Kyzyl-Tash. Polished samples.

Таблица 2
Table 2

Минералы марганцевых пород Урала
Minerals of manganese ores of the Urals

№	Минерал	Формула	Месторождения																				
			В осадочных толщах							В вулканогенных толщах													
			KLS	Kr	Nd-1	Nd-2	SI	SR	Pr ¹	Ms	Kg	Br	Kzh	Ur	Bk	KZ	Ku	KT	SFz-s	MFz	SFz-n	NFz	
<i>Простые вещества (2)</i>																							
1	Серебро	Ag	+																				
2	Медь	Cu													+								
<i>Сульфиды и их аналоги (21)</i>																							
3	Акантит	Ag ₂ S	+																				
4	Алабандин	MinS	+																				
5	Галенит	PbS	+																				
6	Клаусталит	PbSe	+																				
7	Алтаит	PbTe	+																				
8	Сфалерит	ZnS	+																				
9	Пирротин	FeS	+																				
10	Ниллерит	NiS	+																				
11	Никелин	NiAs	+																				
12	Молибденит	MoS ₂	+																				
13	Халькопирит	CuFeS ₂	+																				
14	Пентландит	Fe ₃ Ni ₄ S ₈	+																				
15	Кобальтпентландит	Co ₃ S ₈	+																				
16	Зигенит	CoNi ₂ S ₄	+																				
17	Пирит	FeS ₂	+																				
18	Арсенопирит	FeAsS	+																				
19	Гердорфит	NiAsS	+																				
20	Кобальтин	CoAsS	+																				
21	Ульманит	NiSbS	+																				
22	Алексит	PbBi ₂ Te ₂ S ₂	+																				
23	Айкинит	PbCuBiS ₃	+																				
24	Кварц	SiO ₂	+																				
25	Рутил	TiO ₂	+																				
26	Гематит	Fe ₂ O ₃	+																				
27	Ильменит	FeTiO ₃	+																				
28	Пирофанит	MnTiO ₃	+																				
29	Гаусманнит	Mn ²⁺ Mn ³⁺ O ₄	+																				
30	Якобит	FeMn ³⁺ O ₄	+																				
31	Магнетит	Fe ³⁺ Fe ²⁺ O ₄	+																				
32	Галаксит	MnAl ₂ O ₄	+																				
33	Гюбнерит	MnWO ₄	+																				
34	Ферберит	FeWO ₄	+																				
35	Голландит	Ba(Mn ³⁺ , Mn ⁴⁺) ₈ O ₁₆	+																				
36	Пирохроит	Mn(OH) ₂	+																				

Окончание таблицы 2

№	Минерал	Формула	Месторождения																						
			В осадочных толщах							В вулканогенных толщах															
			KLS	Kr	Nd-1	Nd-2	Sl	SR	Pr ¹	Ms	Kg	Br	Kzh	Ur	Bk	Kz	Ku	KT	SFz-s	MFz	SFz-n	NFz			
109	Деклуазит	PbZn(VO ₄)(OH)	+																						
110	Шеелит	Ca(WO ₄)																							
111	Бисмоклит	BiOCl	+																						
112	Суссекит	Mn(VO ₂)(OH)																							

Хлориды (1)

Бораты (1)

Примечание. В таблице не приведены гипертермные минералы. * – калиевый полевой шпат. Месторождения, Пай-Хой: KLS – Хэйхинское, Сибирчагахинское, Нижнесиловское, Kr – Карское-1 и -2, Nd-1 – Надейхинское-1, Nd-2 – Надейхинское-2, Sl – Силоваяхинское; Полярный Урал: SR – Собское, Pr – Парнокское (1 – приведены минералы марганцевых руд) Средний Урал: Ms – Малооседельниковское, Kg – Кургановское, Br – Бородулинское-1; Южный Урал: Kzh – Кожавское, Ur – Уразовское, Bk – Биккуловское, KZ – Казган-Таш, Ku – Кусимовское, KT – Кызыл-Таш, SFz-s – Южно-Файзуллинское, южный участок, MFz – Средне-Файзуллинское, SFz-n – Южно-Файзуллинское, северный участок, NFz – Северо-Файзуллинское. По данным (Шишкин, Герасимов, 1995; Брусницын, 1998, 2000, 2010, 2013а, 2015; Герасимов и др., 1999; Брусницын, Жуков, 2010; Старикова, 2011, 2014; Старикова и др., 2004; Brusnitsyn, Zhukov, 2012), с дополнениями и уточнениями.

Notes. No supergene minerals are shown in Table. Modified after Shishkin and Gerasimov (1995), Brusnitsyn (1998, 2000, 2010, 2013а, 2015), Gerasimov et al. (1999), Starikova and Zavyaleisky (2010), Starikova (2011, 2014), Brusnitsyn and Zhukov (2005, 2010, 2012). *, K – feldspar. Deposits of the Pay Khoi: Kr – Karsk, KLS – Kheyakha, Lower Silova, Sibirchatayakha, Sl – Silovayakha, Nd-1 – Nadeiyakha-1, Nd-2 – Nadeiyakha-2; deposits of the Polar Urals: SR – Sob River basin, Pr – Parnok (1, minerals of manganese ores are shown only); deposits of the Central Urals: Ms – Malosedelnikovo, Kg – Kurganovo, Br – Borodulino; deposits of the South Urals: Kzh – Kozhaevo, Ur – Urazovo, Bk – Bikkulovo, KZ – Kazgan-Tash, Ku – Kusimovo, KT – Kuzyl-Tash, SFz-s – South Fayzuly (southern part), SFz-n – South Fayzuly (northern part), MFz – Middle Fayzuly, NFz – North Fayzuly.

ды Полярного и Южного Урала специфичны. В них редко встречаются типичные для родонита Среднего Урала сочные ярко-малиновые участки. Напротив, основная его масса светлая, выдержана в тёплых розовых, бежевых, жёлтых, коричневых и серых окрасках, эффектно подчеркнутых чёрными включениями (см. рис. 8 и 10). Эмоционально такой «родонит» воспринимается как спокойный, жизне-радостный материал без резких кричащих настроений. Камень особенно красив в крупных изделиях с большой площадью поверхности. Не случайно его старались добывать большими блоками (см. рис. 5), из которых, в частности, изготавливали облицовочную плитку для внутреннего убранства.

Генетическая интерпретация результатов

Геологические условия залегания марганцевых пород свидетельствуют о том, что они являются нормальными членами осадочных или вулканогенно-осадочных разрезов и образуются сингенетично с вмещающими их отложениями. Источники марганца в принципе могли быть разными. Для большинства месторождений Урала предпочтение отдаётся гидротермальному привносу металла в морской бассейн. Для отложений, локализованных в осадочных толщах, возможен также и седиментогенно-диагенетический механизм накопления марганценосных илов. В любом случае, осаждение марганца изначально, скорее всего, происходило преимущественно в форме оксидов Mn³⁺ и/или Mn⁴⁺ (аморфная фаза, вернадит, тодорокит, бёрнессит и др.), как это имеет место в современном океане. Последующие геологические процессы существенно преобразовали минеральный состав марганцевоносных отложений. Проведённые исследования позволили проследить ключевые закономерности постседиментационного минералообразования.

Прежде всего, направленность фазовых трансформаций при захоронении осадка определяется содержанием в нём органического вещества (Логвиненко, Орлова, 1987; Брусницын, 2007; Konhauser, 2007). Разложение биогенного материала создавало анаэробную восстановительную и насыщенную

углекислотой обстановку, благоприятную для кристаллизации карбонатов и силикатов двухвалентного марганца. Если же в исходном осадке органическое вещество отсутствовало или находилось в незначительном количестве, то при захоронении таких пород марганец в основном сохранял высокую степень окисления, а родохрозит, как правило, не образовывался.

На месторождениях Урала преобладают «восстановленные» карбонатные или оксидно-карбонатно-силикатные марганцевые породы, сформировавшиеся при участии биогенных процессов. Образование основной массы карбонатов марганца (родохрозита, кутнагорита, марганцевых кальцита и сидерита) здесь происходит уже на стадии диагенеза. На это указывает строение их агрегатов. Скопления карбонатов часто сохраняют седименто-диагенетические структуры: пелитовую, колломорфную, комковатую, сферолитовую и т.п., которые при более поздней перекристаллизации постепенно вытесняются более крупнозернистыми мозаичными агрегатами. В обогащенных марганцем разновидностях пород фиксируется замещение родохрозитом изометричных или неправильных по форме обособлений гаусманнита и пиррохрита. Последние представляют собой реликты частично восстановленных исходно-осадочных оксидов марганца. Участие органического вещества в образовании карбонатов подтверждается результатами изотопных анализов углерода. Изученные образцы, чаще всего, характеризуются отрицательными значениями $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ (Кулешов, Брусницын, 2005; Брусницын, 2013а; Брусницын и др., 2014; Кулешов и др., 2014), что типично для углерода биогенного происхождения (Hoefs, 2009). Утяжеление изотопного состава углерода отмечается только в кутнагоритовых породах Пай-Хоя (месторождения Хейяхинское, Сибирчяхинское и Нижнесиловское). В их образовании помимо оксидов марганца и органического вещества принимали участие и обогащенные изотопом ^{13}C осадочные карбонаты кальция (Старикова, Кулешов, 2009; Кулешов и др., 2014). Отметим также, что по своему строению агрегаты марганцевых карбонатов иногда чрезвычайно напоминают продукты бактериальной деятельности. Например, пласты обладающих тонкой волнисто-слоистой текстурой кутнагоритовых пород интерпретируются как образования типа строматолитов (Старикова, 2012).

Среди карбонатов преобладают минералы Са–Mn ряда, но известны и представители Fe–

Mn ряда. Последние характерны для месторождений Полярного Урала и Пай-Хоя: Карское-1, Карское-2 и Собское. По сравнению с карбонатами марганца, образование карбонатов железа требует более восстановительных условий и/или более высоких концентраций углекислоты в поровом растворе. Поэтому закономерно, что Fe–Mn карбонаты приурочены к обогащенным органическим веществом черносланцевым толщам. В других случаях более устойчивой является ассоциация родохрозита с гематитом и/или магнетитом, которая типична для многих месторождений Урала.

При захоронении отложений, лишённых органического вещества, исходно-осадочные оксиды марганца взаимодействуют с опалом (и/или кварцем) с образованием браунита. Кристаллизация данного минерала в изученных породах происходила уже на ранних стадиях литогенеза, вероятно, при диа- или катагенезе осадка. Об этом свидетельствует выполнение браунитом хорошо диагностируемых и слабо деформированных раковин радиолярий. Содержащие браунит нематаморфизованные марганцевые отложения известны, например, в Южной Африке (Gutzmer et al., 2002).

«Окисленные» оксидно-силикатные породы, содержащие браунит, относительно редки на Урале. Они встречаются только в красноцветных кремнистых отложениях (яшмах), залегающих среди девонских вулканогенных толщ Южного Урала (месторождения Кусимовское, Северо-Файзулинское, Ниязгуловское-1, Аюсазовское, Габдимовское и др.). По всей видимости, такие породы маркируют наиболее глубоководные впадины морского бассейна, характеризовавшиеся низкой биологической продуктивностью водной массы и подавленным бентосом. Интересно, что на одном стратиграфическом уровне с браунитовыми породами, встречаются и марганцевые залежи, сложенные «восстановленными» оксидно-карбонатно-силикатными породами (например, Южно-Файзулинское месторождение). Мы полагаем, что такие объекты формируются на месте «биологических оазисов», существовавших в зонах просачивания на поверхность морского дна низкотемпературных гидротермальных растворов (Жуков и др., 1998; Жуков, Леонова, 1999).

При повышении температуры и давления в марганцевых породах кристаллизуются многочисленные силикаты. Сейчас трудно сказать, с какого конкретно температурного порога в марганцевоносных отложениях происходит массовое зарождение

силикатов. Но уже к *PT*-параметрам пренит-пумпеллиитовой фации, подавляющее большинство силикатов марганца являются устойчивыми. Среди них, в том числе, и такие минералы, которые традиционно относят к продуктам глубокого метаморфизма, например, тефроит, родонит, спессартин, амфиболы и пироксены. Изучение марганцевых пород Урала показывает, что кристаллизация этих и других силикатов марганца не требует высоких температур и возможна уже на ранних ступенях метаморфизма или даже на предметаморфических стадиях литогенеза.

Характерной особенностью слабометаморфизованных марганцевых пород является большое разнообразие и высокие содержания водосодержащих силикатов. Так, в марганцевых метаосадках Урала установлено 56 силикатов. Среди них в 16 минералах (почти 30 % от общего числа) концентрация воды составляет 8–12 мас. % (гагеит, гриналит, кариопилит, фриделит, манганпиромалит, бементит, келлиит, пеннантит, клинохлор, шамозит, стильпноделан, парсеттенсит, баннистерит, кумбсит, зусманит и неотоцит). Ещё в 22 силикатах (минералы групп гумита, эпидота, пумпеллиита, амфиболов, слюд, а также ильваит, гейтманит, манганаксинит, манганбабингтонит и тальк) содержание воды равно 2–4 мас. %. Таким образом, почти 70 % метаморфогенных силикатов представлены гидратированными фазами.

Среди водосодержащих силикатов особого внимания заслуживают Mn–Si минералы с кристаллической структурой серпентинитового типа – кариопилит, фриделит, манганпиромалит и бементит. Эти минералы не всегда удается отличить друг от друга, тем более, когда они формируют единые агрегаты. Для упрощения изложения материала, ниже мы будем использовать название только самого распространенного из них – кариопилита. Более детально генетические взаимоотношения между серпентиноподобными минералами рассмотрены в специальной работе (Брусницын, 2015).

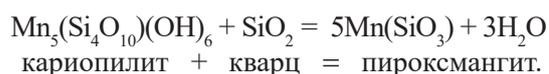
Кариопилит является минералом-индикатором низкоградного метаморфизма марганцевых отложений, максимальная температура его устойчивости примерно соответствует верхней границе пренит-пумпеллиитовой фации (Kato, 1963; Ватанабе и др., 1973; Abrecht, 1989; Flohr, Huebner, 1992; Dasgupta, 1997; Nakagawa et al., 2009, 2014; Брусницын, 2009, 2013a; и др.). Образование кариопилита происходит путём раскristализации присутствовавшего в исходном осадке тонкодисперсного и обводнённого

Mn–Si субстрата, вероятнее всего, рентгеноаморфного силиката марганца – неотокита $MnSiO \cdot nH_2O$. Об этом свидетельствуют следующие факты: 1) послойное, согласно с общей слоистостью отложений, распределение кариопилита; 2) комковатые, глобулярные, скрытокристаллические, концентрически-зональные структуры кариопилитовых агрегатов, аналогичные структурам раскristализации геля или стекла; 3) широкое распространение в кариопилитовой матрице хорошо узнаваемых трещин синерезиса, образующихся при дегидратации («усыхании») и уменьшении объёма тонкодисперсного вещества; 4) постоянное присутствие в составе кариопилита изоморфных примесей магния и алюминия – элементов типичных для силикатов, но не для оксидов и карбонатов марганца.

Неотоцит – более ранний по отношению к кариопилиту минерал – характерный (иногда пороодообразующий) компонент неметаморфизованных марганцевых отложений осадочного и гидротермально-осадочного генезиса (Алексиев, 1960; Clark et al., 1978; Андрущенко и др., 1985; Минералы, 1992; и др.). Предполагается, что неотоцит образуется на стадии диагенеза путем коагуляции в толще осадка Mn–Si геля.

Кариопилит характерен для «восстановленных» оксидно-карбонатно-силикатных пород, в «окисленных» браунитовых породах он встречается реже. Например, на Южном Урале, несмотря на широкое развитие «окисленных» оксидно-силикатных пород, кариопилит в них установлен только на Кусимовском месторождении и только в составе редких даже для данного объекта браунит-родонитовых пород.

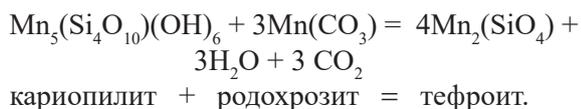
Изучение взаимоотношений между минералами оксидно-карбонатно-силикатных пород показывает, что за счёт кариопилита образуются многие пороодообразующие силикаты. Так, в кариопилитовой матрице фиксируется рост кристаллов пироксмангита или, при наличии в породах кальция, родонита. Схема процесса такова:



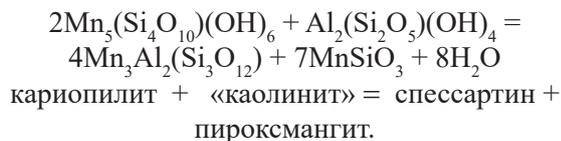
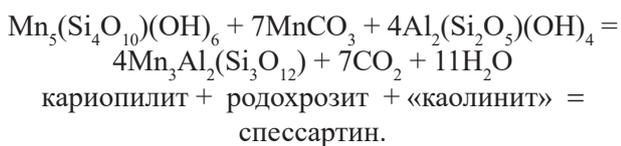
В результате этого, к *PT*-условиям пренит-пумпеллиитовой фации парагенезис кариопилита с кварцем вытесняется ассоциациями кариопилит + пироксмангит (родонит) и пироксмангит (родонит) + кварц. Сказанное относится только к наиболее распространённому в природе кариопилиту с низкими содержаниями элементов-примесей (Fe, Mg, Al).

Обогащённый алюминием, железом и магнием карипилит не реагирует с кварцем, как минимум, до температур порядка 260 °С. Ярким примером этой закономерности служат породы Южно-Файзулинского месторождения на Южном Урале (Брусницын, 2006, 2013а).

Характерно развитие по карипилиту тефроита и близких к нему по составу гумитов (сонолита, аллеганиита и риббеита). Вероятнее всего, образование тефроита осуществлялось в результате взаимодействия карипилита с родохрозитом:



За счёт реакции карипилита с родохрозитом и глинистыми минералами образуется спессартин. Схематично этот процесс можно отобразить уравнениями:



Помимо парагенезиса карипилит + спессартин ± пироксмангит (родонит) ± тефроит (гумиты) ± родохрозит, на месте глинистых прослоев образуются также ассоциации с участием пеннантита, клинохлора, мусковита, стильпномелана, парсетенсита и некоторых других минералов.

С ростом температуры метаморфизма карипилит становится неустойчивым и вытесняется ассоциацией пироксмангита (и/или родонита) с тефроитом:



Парагенезис пироксмангит (± родонит) + тефроит типичен для марганцевых пород Среднего Урала и отложений многих других регионов, испытавших зелёносланцевый и более глубокий метаморфизм (Брусницын, 2000, 2007; и др.).

В целом же в результате обобщения минералогических наблюдений восстанавливается цепочка преобразования марганец-кремнистого вещества по мере роста *PT*-параметров. Основные её звенья таковы: в осадке присутствовала гелеобразная Mn–Si фаза, при её литификации на стадии диагенеза формировался

неонокит, затем по неонокиту развивался карипилит, а далее за счёт реакций с участием карипилита кристаллизовались пироксмангит, родонит, тефроит и другие силикаты; наконец, в условиях зелёносланцевой фации на месте карипилита формировалась ассоциация пироксмангит (± родонит) + тефроит.

Уточняя полученные результаты, следует подчеркнуть несколько важных генетических моментов.

Во-первых, удаётся выявить присутствие в исходном осадке тонкодисперсной сильно обводнённой Mn–Si фазы (геля, стекла и т.п.), количество которой может быть достаточно велико. Природа такого протолита и условия его накопления пока ещё плохо изучены. Минералогические данные со всей определённостью указывают на возможность его существования. Это предположение высказывалось и предыдущими исследователями. В частности, сходные с нашими представления о генезисе карипилита и ортосиликатов (тефроита, аллеганиита и сонолита) ранее выдвигались для марганцевых месторождений Калифорнии (Flohr, Huebner, 1992). Образование карипилита на самых ранних стадиях литогенеза и последующее его вытеснение родонитом и/или тефроитом отмечалось на месторождениях Японии (Ватанабе и др., 1973; El Rhazi, Hayashi, 2003; Nakagawa et al., 2009, 2014).

Во-вторых, очевидно, что при низких температурах образование многих силикатов марганца происходит за счёт последовательной трансформации именно Mn–Si протолита. Эти процессы должны быть энергетически более выгодны, чем кристаллизация силикатов путём реакций кремнезёма с оксидами и/или карбонатами марганца. Отсюда и возможность появления силикатов марганца уже на ранних ступенях метаморфизма или даже на пред-метаморфических стадиях литогенеза.

В-третьих, в метаморфизованных марганцевых отложениях целесообразно выделять низкотемпературную карипилитовую (или тефроит-карпипилит-пироксмангитовую ± родонит) и высокотемпературную бескарпипилитовую (или тефроит-пироксмангитовую ± родонит) фации. *PT*-границы первой из них в первом приближении соответствуют цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фациям, второй – зелёносланцевой и более глубоким фациям.

Таким образом, предпосылкой для образования силикатов марганца при низких температурах служит сочетание специфических факторов. А именно: 1) накопление в осадках марганца в форме Mn–Si субстрата (геля, неонокита); 2) наличие здесь же органического вещества необходимо

для создания восстановительной обстановки. Причём количество органического вещества должно быть умеренным, чтобы концентрация вырабатываемой при его разложении углекислоты была относительно низкой. В противном случае вместо силикатов будет устойчив парагенезис родохрозита с кварцем.

Главный вопрос заключается в условиях генезиса исходной Mn–Si фазы. Вероятнее всего, она образуется при смешении гидротермальных растворов с холодной морской водой. Резкое изменение физико-химических параметров приводит к быстрой («лавинообразной») потере гидротермами растворённых компонентов. При этом, марганец и кремний концентрируются не только в составе аморфных или плохо окристаллизованных оксидов, но и в виде метастабильной Mn–Si фазы. Если же седиментация марганца и кремния происходит в более спокойной обстановке (на значительном удалении от гидротермальных источников или вообще без участия глубинных растворов), то образование Mn–Si фазы маловероятно.

Из всего сказанного вытекает, что низкотемпературные силикаты марганца указывают на гидротермальное происхождение марганцевоносных отложений. Изучение месторождений Урала подтверждает это предположение. Наиболее определённые результаты получены на Южном Урале. Как было отмечено выше, здесь уверенно реконструируются два типа марганцевоносных отложений: сформированных в зонах разгрузки гидротермальных источников и на удалении от них (Брусницын, Жуков, 2010; Brusnitsyn, Zhukov, 2012; Брусницын, 2013a). Большое разнообразие силикатов марганца установлено только на месторождениях первого типа (Кожаевское, Уразовское, Биккуловское, Казган-Таш, Кызыл-Таш, Южно- и Средне-Файзулинское). В месторождениях же второго типа (Габдимовское, Аюсазовское, Ниязгуловское-2, Кусимовское Северо-Файзулинское и Южно-Файзулинское, северный участок) марганцевые залежи сложены однообразными по составу кварц-браунитовыми породами (см. табл. 1). Для месторождений Полярного Урала и Пай-Хоя гидротермальный генезис оксидно-карбонатно-силикатных пород не столь очевиден. Тем не менее, геологическое строение залежей, большое минералогическое сходство этих пород с породами Южного Урала при близких параметрах метаморфизма позволяет и в этом случае допускать накопление марганцевых отложений в зоне просачивания гидротермальных растворов.

Помимо карнопилита, а также тесно ассоциирующих с ним гидратированных силикатов, к признакам низкоградного метаморфизма марганцевых отложений относятся также следующие. 1) Присутствие в породах йогансенита: экспериментальные исследования (Angel, 1984) показали, что этот минерал устойчив при $P = 2$ и $T < 320$ °С, а при $P = 3$ кбар и $T < 350$ °С. При тех же давлениях, но больших температурах на месте йогансенита $\text{CaMn}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ должен образовываться его полиморфный аналог – бустамит $\text{Ca}_3\text{Mn}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)_2$. 2) Присутствие в породах пироксмангита $\text{MnMn}_6(\text{Si}_7\text{O}_{21})$: согласно экспериментальным работам (Maresh, Mottana, 1976) этот минерал устойчив при $P = 2$ кбар и $T < 420$ °С, а при $P = 4$ кбар и $T < 450$ °С. При тех же давлениях, но больших температурах на месте пироксмангита должен образовываться его полиморфный аналог – бескальциевый родонит $\text{MnMn}_4(\text{Si}_5\text{O}_{15})$. Подчеркнём, что содержащий кальций родонит $\text{CaMn}_4(\text{Si}_5\text{O}_{15})$ может кристаллизоваться при значительно меньших температурах и давлении, что, в частности, подтверждается изучением месторождений Урала. 3) Наличие в породах минералов группы пумпеллиита, особенно его железистых и марганцевых представителей (Schiffman, Liou, 1983; Liou et al., 1985; Минералы, 1996). 4) Преимущественно тонкозернистое строение пород, сохранение реликтов типично седименто-диагенетических текстур и структур, наличие хорошо сохранившихся и легко диагностируемых реликтов микро- и макрофауны; дефектная (микроблочная, пойкилитовая и т.п.) морфология кристаллов многих минералов; начиная с зелёносланцевой фации и выше, для минералов характерны хорошо оформленные зёрна, а для пород – мозаичные, grano- и гетеробластовые и другие метаморфогенные структуры.

Выводы

Слабометаморфизованные марганцевые отложения Урала сложены тремя минералогическими типами пород: I) карбонатным, II) оксидно-карбонатно-силикатным и III) оксидно-силикатным. В первом типе главными носителями марганца являются карбонаты, во втором – разнообразные силикаты Mn^{2+} в ассоциации с оксидами и карбонатами, в третьем – силикат Mn^{3+} (браунит). Из-за различий в доминирующей степени окисления марганца, породы первого и второго типа аттестуют также как «восстановленные», а третьего – «окисленные». Образование конкретного минералогического типа метаморфогенных ассоциаций контроли-

руется содержанием в исходном осадке органического вещества. Последовательность I → II → III отражает уменьшение органического вещества в металлоносных отложениях.

Минералогические данные показывают, что марганец в исходном осадке мог накапливаться не только в оксидной, но и в силикатной форме (Mn–Si гель, стекло и т.п.). В дальнейшем, по мере роста *PT*-параметров, Mn–Si фаза трансформировалась на стадии диагенеза в неотоцит, затем по неотоциту развивался кариопилит, а далее, за счёт реакций с участием кариопилита, кристаллизовались пироксмангит, родонит, тефроит и другие силикаты.

Химическая природа, физико-химические условия и механизмы образования в неконсолидированных осадках гидратированной Mn–Si фазы остаются дискуссионными. Предполагается, что появление метастабильной Mn–Si фазы, вероятнее всего, происходит при быстрой («лавинообразной») разгрузке гидротермальных растворов при их смешении с морской водой и обусловленным этим резким изменением физико-химических параметров среды.

Кристаллизация многих силикатов марганца не требует высоких температур и возможна уже на ранних ступенях метаморфизма или даже на пред-метаморфических стадиях литогенеза.

В метаморфизованных марганцевых отложениях целесообразно выделять низкотемпературную кариопилитовую (или тефроит-кариопилит-пироксмангитовую ± родонит) и высокотемпературную бескариопилитовую (или тефроит-пироксмангитовую ± родонит) фации. *PT*-границы первой из них соответствуют цеолитовой и пренит-пумпеллиитовой фациям, второй – зелёносланцевой и более глубоким фациям. Примерами первой являются месторождения Полярного и Южного Урала, второй – Среднего Урала.

Присутствие в слабометаморфизованных породах разнообразных силикатов марганца служит косвенным свидетельством гидротермально-осадочного генезиса исходных металлоносных отложений.

Полученные выводы справедливы для слабометаморфизованных отложений. При высоких температурах разнообразие химических реакций, приводящих к кристаллизации силикатов марганца (тефроита, родонита, спессартина и др.), увеличивается. Поэтому в глубокометаморфизованных комплексах эти минералы могут образовываться на месте протолита разного состава и генезиса. Метаморфизм неизбежно затушёвывает природу первичного осадка.

Работы выполнены с использованием аналитических возможностей ресурсных центров СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования», «Микроскопии и микроанализа» и «Геомодель». Исследования поддержаны РФФИ (проект 16-05-00227) и выполнены в рамках государственной бюджетной темы ИМин УрО РАН «Минералогия и геохимия рудных и рудоносных фаций как отражение геологической истории палеогидротермальных систем» (госконтракт АААА-А16-116021010244-0).

Литература

Алексиев Б. Неотоцит из олигоценового марганцеворудного горизонта Варненского района // Минер. сб. Львов. геол. об-ва. 1960. № 14. С. 208–214.

Андрущенко П.Ф., Суслов А.Т., Гавашивили Н.В. Марганцевые месторождения Тетрицкаройского рудного района Грузии // Вулканогенно-осадочные и гидротермальные марганцевые месторождения (Центральный Казахстан, Малый Кавказ, Енисейский кряж). Отв. ред. И.В. Витовская. М.: Наука, 1985. С. 115–172.

Барсанов Г.П. О изоморфном ряде аксинита и новом минеральном виде севергените // Тр. Мин. Музея АН СССР. 1951. Вып. 3. С. 33–39.

Бетехтин А.Г. О новых минеральных видах группы гидрооксидов марганца // Зап. ВМО. 1937. № 3. С. 703–712.

Бетехтин А.Г. Южноуральские марганцевые месторождения как сырьевая база Магнитогорского металлургического комбината имени Сталина / Тр. Ин-та геологических наук. Серия рудных месторождений, 1940. Вып. 30. № 4. 63 с.

Бетехтин А.Г. Промышленные марганцевые руды СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1946. 315 с.

Брехунцов А.М., Островский Л.Я., Показаньева В.Н., Ильюшенков А.Я. Марганцевоносность вулканогенно-осадочных и осадочных толщ Полярного Урала // Полярный Урал – стратегия освоения. Тр. 2-ой Полярно-Уральской научно-практ. конфер. Тюмень–Салехард, 2004. С. 57–67.

Брусницын А.И. Минералогия месторождений поделочных родонитовых пород Среднего Урала // Зап. ВМО. 1998. № 3. С. 1–11.

Брусницын А.И. Родонитовые месторождения Среднего Урала (минералогия и генезис). СПб.: СПбГУ, 2000. 200 с.

Брусницын А.И. Минералогия и условия метаморфизма марганцевых руд Южно-Файзулинского месторождения (Южный Урал) // Геол. рудн. месторожд. 2006. Т. 48. № 3. С. 225–248.

- Брусницын А.И.* Ассоциации марганцевых минералов как индикаторы фугитивности кислорода при метаморфизме металлоносных отложений // Геохимия. 2007. № 4. С. 345–363.
- Брусницын А.И.* Минералогия метаморфизованных марганцевых отложений Южного Урала // Зап. РМО. 2009. № 5. С. 1–18.
- Брусницын А.И.* Минералогия марганцевоносных метаосадков Южного Урала. СПб.: СПбГУ, ООО «ИПК КОСТА», 2013а. 160 с.
- Брусницын А.И.* Геохимия и модель формирования рудоносных отложений Парнокского железомарганцевого месторождения (Полярный Урал) // Геохимия. 2013б. № 8. С. 690–716.
- Брусницын А.И.* Марганцевоносные метаосадки чёрносланцевых толщ Полярного Урала // // Металлогения древних и современных океанов – 2014. Двадцать лет на передовых рубежах геологии месторождений полезных ископаемых. Миасс: ИМин УрО РАН. 2014. С. 79–82.
- Брусницын А.И.* Парнокское марганцевое месторождение, Полярный Урал: минералогия, геохимия и генезис руд. СПбГУ: Институт наук о Земле, 2015. 116 с.
- Брусницын А.И., Жуков И.Г.* Марганцевые отложения Магнитогорского палеовулканического пояса (Южный Урал): строение залежей, состав, генезис // Литосфера. 2010. № 2. С. 77–99.
- Брусницын А.И., Кулешов В.Н., Калугин П.С.* Генезис карбонатов Парнокского железомарганцевого месторождения // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 3. С. 336–353.
- Брусницын А.И., Летникова Е.Ф., Жуков И.Г.* Геохимия редкоземельных и рассеянных элементов в марганцевоносных метаосадках Южного Урала // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории. Новосибирск, ИНГТ СО РАН. 2013. Т. 1. С. 18–121.
- Варенцов И.М., Рахманов В.П.* Месторождения марганца / Рудные месторождения СССР. М.: Недра, 1978. Т. 1. С. 112–171.
- Ватанабе Е., Юи С., Като А.* Обзор пластовых марганцевых месторождений Японии // Вулканизм и рудообразование. Пер. с англ. под ред. В.И. Смирнова. М.: Мир, 1973. С. 104–121.
- Гаврилов А.А.* Эксгальционно-осадочное рудонакопление марганца. М.: Недра, 1972. 215 с.
- Геология и полезные ископаемые России. Запад России и Урал. Т. 1. Кн. 2. Урал. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. 583 с.
- Герасимов Н.Н.* Геологическое строение и генезис Парнокского железомарганцевого месторождения (Полярный Урал) // Автореф. дисс... канд. геол.-мин. наук. Москва: МГУ, 2000. 24 с.
- Герасимов Н.Н., Наседкина В.Х., Онищенко С.А., Шишкин М.А.* Минеральный состав руд Парнокского железомарганцевого месторождения (Полярный Урал) // Геол. рудн. месторожд., 1999. № 1. С. 84–96.
- Голдобин А.В.* Родонит // Горный журнал. Уральское горное обозрение, 1994. № 11–12. С. 20–29.
- Жуков И.Г.* Положение девонских марганценовых отложений в структурах Магнитогорской палеоостроводужной системы // Металлогения древних и современных океанов – 2002. Формирование и освоение месторождений в офиолитовых зонах. Миасс: ИМин УрО РАН, 2002. С. 148–153.
- Жуков И.Г., Леонова Л.В.* Бентосная фауна из придонной гидротермальной постройки Файзулинского низкотемпературного палеогидротермального поля (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов–99. Рудоносность гидротермальных систем. Миасс: ИМин УрО РАН. 1999. С. 74–79.
- Жуков И.Г., Мизенс Л.И., Сапельников В.П.* О находке бентосной фауны на низкотемпературном палеогидротермальном поле Южно-Файзулинского марганцевого месторождения (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов – 98. Руды и генезис месторождений. Миасс: ИМин УРО РАН. 1998. С. 111–115.
- Зайков В.В.* Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин (на примере колчеданосных зон Урала и Сибири). М.: Наука, 1991. 203 с.
- Зайков В.В.* Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин (на примере колчеданосных зон Урала и Сибири). Изд. 2-е. М.: Наука, 2006. 429 с.
- Зайкова Е.В., Зайков В.В.* Признаки придонного гидротермального происхождения железисто-кремнистых построек Магнитогорско-Мугоджарской островодужной системы Урала // Металлогения древних и современных океанов–2003. Формирование и освоение месторождений в островодужных системах. Миасс: ИМин УрО РАН. 2003. С. 208–215.
- Зыкин Н.Н.* Геологическое строение и генезис Парнокского железомарганцевого месторождения (Полярный Урал) // Вестник МГУ. Серия геология. 2004. № 2. С. 40–49.

Калинин В.В. Марганцевые и железо-марганцевые месторождения восточного склона Южного Урала / Марганцевые месторождения складчатых областей СССР. М.: Наука, 1978. С. 55–90.

Киевленко Е.Я., Сенкевич Н.Н. Геология месторождений поделочных камней. М.: Недра, 1983. 264 с.

Контарь Е.С., Савельева К.П., Сурганов А.В., Алешин Б.М., Шишкин М.А., Герасимов Н.Н., Костромин Д.А., Папулова О.Б., Сергеева В.В. Марганцевые месторождения Урала. ОАО УГСЭ. Екатеринбург, 1999, 120 с.

Костюк Б.Ф., Островский Л.Я., Пенчук В.Н., Ильюшенко А.Я. Марганцевоносность Полярного Урала // Состояние марганцево-рудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем. Тр. первой научно-техн. конфер. Екатеринбург: ОАО «Уральский институт металлов». 2000. С. 74–91.

Кулешов В.Н., Брусницын А.И. Изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) и происхождение карбонатов из марганцевых месторождений Южного Урала // Литология и полезные ископаемые. 2005. № 4. С. 416–429.

Кулешов В.Н., Брусницын А.И., Старикова Е.В. Месторождения марганца на Северо-Востоке Европейской части России и Урала: геохимия изотопов, генезис, эволюция рудогенеза // Геол. рудн. месторожд. 2014. № 5. С. 423–439.

Логвиненко Н.В., Орлова Л.В. Образование и изменение осадочных пород на континенте и в океане. Л.: Недра, 1987. 237 с.

Лукошков В.Н. Гондиты Урала. Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1983. 120 с.

Микляев А.С. Верхнедевонские отложения сланцевой зоны Пай-Хоя и перспективы их рудоносности // Геология девона северо-востока Европейской части СССР. Тез. докл. Сыктывкар: ИГ КНЦ УрО РАН, 1991. С. 52–53.

Минералы: Справочник / Под ред. Н.Н. Смольяниновой. М.: Наука, 1992. Т. IV. Вып. 1. 630 с.

Минералы: Справочник / Под ред. Г. Б. Бокия. М.: Наука, 1996. Т. IV. Вып. 3. 426 с.

Михайлов Б.М. Актуальные проблемы прогнозирования марганцевых месторождений на Урале // Литология и полезные ископаемые. 2001. № 1. С. 3–15.

Михайлов Б.М. Марганец // Геология и полезные ископаемые России. Запад России и Урал. Т. 1. Кн. 2. Урал. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. С. 319–332.

Овчинников Л.Н. Полезные ископаемые и металлогения Урала. М.: Геоинформарк, 1998. 413 с.

Перова Е.Н. Физико-химическая модель формирования метаморфизованных силикатных марганцевых месторождений. СПб.: Изд-во СПбГУ. 2004. 210 с.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2010. 279 с.

Рой С. Месторождения марганца. М.: Мир, 1986. 520 с.

Салихов Д.Н., Ковалев С.Г., Брусницын А.И., Беликова Г.И., Бердников П.Г., Семкова Т.А., Сергеева Е.В. Полезные ископаемые республики Башкортостан (марганцевые руды). Уфа: Изд-во «Экология», 2002. 243 с.

Серков А.Н. Петрология, минералогия и генезис среднеуральских месторождений родонита: Автореф. дисс... канд. геол.-мин. наук. Свердловск, 1989. 19 с.

Силаев В.И. Геохимия и минералогия карбонатного марганца на Полярном Урале // Литогенез и геохимия осадочных формаций Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: ИГ КНЦ УрО РАН, 1994. С. 60–70.

Систематика и классификации осадочных пород и их аналогов / СПб: Недра, 1998. 352 с.

Старикова Е.В. Минералогия родонитовых пород Силоваixinского проявления, Пай-Хой // Зап. РМО. 2011. № 5. С. 75–91.

Старикова Е.В. Строматолитоподобные марганцевые отложения Пай-Хоя // Вестник СПбГУ. Сер. 7: Геология, География. 2012. № 2. С. 10–21.

Старикова Е.В. Фаменская марганценосная формация Пай-Хоя // Литосфера. 2014. № 1. С. 58–80.

Старикова Е.В., Брусницын А.И., Жуков И.Г. Палеогидротермальная постройка марганцевого месторождения Кызыл-Таш, Южный Урал: строение, состав, генезис. СПб.: Наука, 2004. 230 с.

Старикова Е.В., Завилейский Д.И. Геологическая позиция и вещественный состав фаменских марганцевых руд Лемвинской зоны Пай-Хоя (на примере рудопоявлений Нижнесиловской группы) // Литология и полезные ископаемые. 2010. № 4. С. 383–400.

Старикова Е.В., Кулешов В.Н. Механизм формирования кутнагоритов фаменской марганценосной формации Пай-Хоя на основании минералогических и изотопных данных // Металлогения древних и современных океанов – 2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН. 2009. С. 234–239.

Страхов Н.М., Штеренберг Л.Е., Калинин В.В., Тихомирова Е.С. Геохимия осадочного марганцеворудного процесса. М.: Наука, 1968. 495 с.

- Херасков Н.П.* Геология и генезис Восточно-Башкирских марганцевых месторождений // Вопросы литологии и стратиграфии СССР. Памяти академика А.Д. Архангельского. М.: Изд-во АН СССР, 1951. С. 47–65.
- Холодов В.Н., Недумов Р.И.* О рудообразующей роли чёрных сланцев (на примере фосфатных и марганцевых руд) // Литология и полезные ископаемые. 2011. № 4. С. 362–395.
- Шишкин М.А., Герасимов Н.Н.* Парнокское железо-марганцевое месторождение (Полярный Урал) // Геол. рудн. месторожд. 1995. № 5. С. 445–456.
- Юдович Я.Э., Беляев А.А., Кетрис М.П.* Геохимия и рудогенез черносланцевых формаций Пай-Хоя // СПб.: Наука, 1998. 366 с.
- Юшкин Н.П., Куңз А.Ф., Тимонин Н.И.* Минералогия Пай-Хоя. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2007. 291 с.
- Abrecht J.* Manganiferous phyllosilicate assemblages: occurrence, compositions and phase relations in metamorphosed Mn deposits // Contrib. Mineral. Petrol. 1989. Vol. 103. P. 228–241.
- Angel R. J.* The experimental determination of the johannsenite/bustamite equilibrium inversion boundary // Contrib. Mineral. Petrol. 1984. Vol. 85. P. 272–278.
- Brusnitsyn A.I., Zhukov I.G.* Manganese deposits of the Devonian Magnitogorsk Paleovolcanic belt (Southern Urals, Russia) // Ore Geology Review. Manganese deposits. 2012. Vol. 47. P. 42–58.
- Calvert S.E., Pedersen T.F.* Sedimentary geochemistry of manganese: implications for the environment of formation of manganiferous black shale // Econ. Geol. 1996. Vol. 91. P. 36–47.
- Clark A.M., Easton A.J., Jones G.C.* A study of the netocite group // Miner. Mag. 1978. Vol. 42. P. M26–M30.
- Crerar D. A., Namson J., Chyi M. S., Williams L., Feigenson M. D.* Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage. I. General geology, ancient and modern analogues, and implications for hydrothermal convection at oceanic spreading centers // Econ. Geol. 1982. Vol. 77. № 3. P. 519–540.
- Dasgupta S.* P–T–X relationships during metamorphism of manganese-rich sediments: current status and future studies // Manganese mineralization: geochemistry and mineralogy of terrestrial and marine deposits. Geol. Soc. Special publication. London, 1997. No. 19. P. 327–337.
- El Rhazi M., Hayashi K.-I.* Origin and formational environment of Noda-Tamagawa manganese ore, northeast Japan: constraints from isotopic studies // Chem. Erde. 2003. Vol. 63. P. 149–162.
- Flohr M.J.K., Huebner J.S.* Mineralogy and geochemistry of two metamorphosed sedimentary manganese deposits, Sierra-Nevada, California, USA // Lithos. 1992. Vol. 29. P. 57–85.
- Grenne T., Slack J.F.* Bedded jaspers of the ordovician Lokken ophiolite, Norway: seafloor deposition and diagenetic maturation of hydrothermal plume-derived silica-iron gels // Mineral. Deposita. 2003. Vol. 38. P. 625–639.
- Gutzmer J., Schaefer M.O., Beukes N.J.* Red bed-hosted oncolitic manganese ore of the paleoproterozoic Soutpansberg group, Bronkhorstfontein, South Africa // Econ. Geol. 2002. Vol. 97. P. 1151–1166.
- Hoefs J.* Stable isotope geochemistry. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 285 p.
- Huckriede H., Meischner D.* Origin and environment of manganese-rich sediments within black-shale basins // Geochim at Cosmochim Acta, 1996. Vol. 60. P. 1399–1413.
- Kato T.* New data on the so-called bementite // Journal Japan Assoc. Miner., Petrol., Econom., Geol. 1963. Vol. 49. P. 93–103.
- Konhauser K.* Introduction to geomicrobiology. New York; London: Blackwell Publishing, 2007. 425 p.
- Liou J.G., Maruyama S., Cho M.* Phase equilibria and mineral parageneses of metabasites in low-grade metamorphism // Miner. Mag. 1985. Vol. 49. P. 321–333.
- Maresch W.V., Mottana A.* The pyroxmangite-rhodonite transformation for the MnSiO₃ composition // Contrib. Miner. Petrol. 1976. Vol. 55. P. 69–79.
- Mottana A.* Blueschist-facies metamorphism of manganiferous cherts: A review of the alpine occurrences // Blueschist and Eclogites / Eds.: B.W. Evans, H. Brown. New York: Geol. Soc. Amer. Miner. 1986. P. 267–299.
- Nakagawa M., Santosh M., Maruyama S.* Distribution and minerals assemblages of bedded manganese deposits in Shikoku, Southwest Japan: implications for accretion tectonics // Gandwana Research. 2009. Vol. 16. P. 609–621.
- Nakagawa, M., Fukuoka, M., Kakehi, K., Kakiuchi, G., Tamaki, Y., Taniguchi, T.* Caryopilite and greenalite from the manganese deposits in Shikoku, Southwest Japan. Clay Science. 2014. Vol. 18. P. 79–86.
- Schiffman P., Liou J. G.* Synthesis of Fe-pumpellyite and its stability relations with epidote // J. of Metamorphic Geology. 1983. Vol. 1. P. 91–101.

Поступила в редакцию 31 августа 2016 г.