

УДК 551.242.3(234.85)

МЕДИСТЫЕ БАЗАЛТЫ СЕВЕРНОГО УРАЛА

© 2017 г. Ю. С. Савчук, А. В. Волков, В. В. Аристов

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 35, e-mail: yurasavchuk@yandex.ru

Поступила в редакцию 27.06.2016 г.; принята к печати 20.09.2016 г.

Проявления медистых базальтов в мире. Дана характеристика и отличительные признаки таких месторождений. В качестве эталона рассматриваются месторождения оз. Верхнее в США. На Северном Урале бурением изучена Хултымьинская минерализованная зона, приуроченная к миндалекаменным оливиновым базальтам и их туфам разной гранулометрии. Детальное исследование нового для Урала типа медного оруденения приуроченного к медистым базальтам на предмет соответствия их известным рудоносным вулканитам. Основным рудным минералом является самородная медь с размером выделений до 10 мм. Анализ размещения самородной медной и сульфидной минерализации в пространстве по данным бурения позволил выявить минеральную зональность на площади: центральная часть вмещает выделения самородной меди, а на периферии (как выше, так и ниже по разрезу и во фланговых частях) развита сульфидная минерализация; ближе – с убогой вкрапленностью халькопирита, а на удалении – пирита. В целом бурением вскрыта пологая, мощная (до 166–228 м), протяженная (до 3500 м) Хултымьинская минерализованная зона, включающая интервалы с развитием самородной меди. По падению эта минерализованная зона прослежена более чем на 500 м. Несмотря на широкое распространение, минерализация имеет рассеянный характер, а по результатам опробования содержания меди крайне низкие (менее 0.1%), и лишь небольшое количество проб содержит более 0.5% меди. Относительно повышенные концентрации меди (от 0.1 до >1%) локализируются в пространственно разобщенных телах небольшого размера. Минерализованная зона контролируется надвиговыми структурами, по которым, вероятно, осуществлялся подток рудоносных гидротерм. Выявлено меднорудное проявление нового, нетрадиционного для Урала типа с пластовой залежью вкрапленной самородной меди в базальтоидном разрезе верхнетурнейского возраста. Большие площади, занятые рифтогенными базальтами на восточном склоне Северного Урала, позволяют предполагать перспективность этого типа оруденения. Рифтогенные структуры Восточной Сибири также перспективны на выявление медистых базальтов.

Ключевые слова: самородная медь, базальт, долерит, рифт, Северный Урал**CUPRIFEROUS BASALTS OF THE NORTHERN URALS**

Yury S. Savchuk, Alexandr V. Volkov, Vasily V. Aristov

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, 119017, Staromonetnyi lane, 35, Moscow, Russia, e-mail: yurasavchuk@yandex.ru

Received 27.06.2016; accepted 20.09.2016

Characteristics and distinctive features of cupriferous basalts in the world are given. Deposits of the Superior Lake in the United States are considered as a reference. In the Northern Urals, drilling explored the Khultym'insk mineralized zone, associated with almond-stone olivine basalts and their tuffs of different granulometry. A detailed study of a new for the Urals type of copper mineralization into basalts for their conformity with known cupriferous volcanites. The main ore mineral is native copper, up to 10 mm size. Analysis of the distribution of native copper and sulphide mineralization in space according to drilling data made it possible to reveal mineral zonality in the area: the central part contains the releases of native copper, sulfide mineralization is developed on the periphery (both above and below in the section and in the flank parts), closer to the centre with a poor dissemination of chalcopyrite, and at a distance – pyrite. As a whole, the Khultym'inskaya mineralized zone has a gentle dip, thickness of up to 166–228 m and extent of up to 3500 m, including the intervals with the development of native copper, was discovered by drilling. This mineralized zone has been traced by inclination of more than 500 m. Despite its wide distribution, the mineralization is very dispersed and according to the results of testing the copper content is extremely low (less than 0.1%), and only a small number of samples contain more than 0.5% copper. Relatively elevated concentrations of copper (from 0.1 to >1%) are localized in spatially disconnected, small-sized bodies. The mineralized zone is controlled by thrust, it is probable that the ore-bearing fluids have been inflated over this structures. A copper ore manifestation of a new type, unconventional for the Urals with a stratified deposit of disseminated native copper in the basic section of the Upper Tournaisian age, has been revealed. The large areas occupied by rift basalts on the eastern slope of the Northern Urals make it possible to assume the prospect of this type mineralisation. Rift structures of Eastern Siberia are potential as well.

Keywords: native copper, basalt, dolerite, rift, the Northern Urals**Acknowledgment***This work was carried out with the financial support of the State budget theme No. 72-5 of the IGEM RAS "Metallogeny of unique ore regions of volcanogenic belts and zones of orogenesis of various ages of the marginal lithosphere of Northeast*

Asia” and the Program of the Presidium of RAS No. 4 “Deposits of strategic raw materials in Russia: innovative approaches to their forecasting, valuation and extraction”.

Для цитирования: Савчук Ю.С., Волков А.В., Аристов В.В. (2017) Медистые базальты Северного Урала. *Литосфера*, 17(3), 133-144. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-3-133-144

For citation: Savchuk Yu.S., Volkov A.V., Fristov V.V. (2017) Cupriferous basalts of the Northern Urals. *Litosfera*, 17(3), 133-144. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-3-133-144

ВВЕДЕНИЕ

Месторождения медистых базальтов не учтены в государственном балансе запасов и в прогнозных ресурсах меди по Уральскому региону. Тем не менее, поскольку они имеют промышленное значение в других регионах мира, была сделана попытка изучить и обобщить имеющуюся информацию о таких рудопроявлениях Северного Урала и других регионов России. Эта статья основана на имеющихся опубликованных данных по известным месторождениям и проявлениям медистых базальтов и на результатах поисково-оценочных работ на ряде объектов Северного Урала, где поиски месторождений меди в базальтах носили спорадический характер, и только недавно были получены конкретные результаты. Одна из задач данной работы заключается в создании прогнозно-поисковой модели месторождений самородной меди в базальтах. Авторы полагают, что в долгосрочной перспективе крупные рудные тела этого типа могут быть найдены в известных меднорудных провинциях России.

РЕГИОНАЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ

Самородная медь встречается в разнообразных геологических позициях. Особо выделяется группа месторождений, связанных с основным вулканизмом (табл. 1). Н. Cornwall (1956) описал проявле-

ния самородной меди в базальтах и связанных с ними осадочных породах, а также отметил выделения этого металла в основных (Нью-Джерси) и ультраосновных (Италия) интрузивах, осадочных породах (Мичиган, Боливия), в зоне окисления сульфидных месторождений (Нью-Мехико), а также находки в современных болотах (Монтана). Наибольший интерес в связи с возможными гигантскими объемами представляют проявления меди в базальтах, которые встречаются во многих регионах мира: Канаде (*Coppermine River* и *Bathurst Inlet*); США (*White River, Copper River*, Аляска, *Cap d'or*, Новая Шотландия, *First Mountain*, Нью-Джерси, *Lake Superior*, Мичиган, *Comobabi Mountains*, Аризона, *Baggs Creec*, Монтана, а также в триасовых и миоценовых лавах на северо-западе Орегона, в метаморфизованных базальтах северной Калифорнии); Бразилии (*San Paulo, Parana*); Колумбии (*Tolima*); Гватемале (*Oxes*); Норвегии (*Dalane*); Германии (*Oberstein*); Польше (*Wielki, Mydsk, Volhynia*); Швейцарии (*Glarus*); Шотландии (*Stirling*); Китае (*Szechuan, Yunnan*); Австралии (*Queensland*); Новой Гвинее. Со времени выхода этого обобщения появилось много новых данных и находок самородной меди в базальтах. Проявления тонкорассеянной вкрапленности самородной меди были установлены в базальт-трахибазальтовой формации Казахстана (Каюпов и др., 1975). В долеритах Вольно-Подольской плиты (Украина) они оказались при-

Таблица 1. Классификационные признаки месторождений медистых базальтов

Table 1. Classification attributes of copper deposits of basalt

| № п/п | Классификационные признаки |
|-------|--|
| 1 | Тектоническая обстановка: межконтинентальные палеорифты с накоплением мощных вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений в грабенах |
| 2 | Вулканогенная часть представлена миндалекаменными оливиновыми базальтами, а осадочная – разделяющими покровы базальтов прослоями и пластами терригенных и терригенно-вулканомиктовых пород разной гранулометрии, от алевритов до конгломератов. Отдельные участки насыщены дайками и силлами долеритов |
| 3 | Пологие минерализованные зоны, состоящие из нескольких параллельных пластовых рудных залежей, сложенных базальтами и разделяющими их терригенными породами, в разной степени насыщенными вкрапленностью самородной меди |
| 4 | Кроме меди в рудах повышены содержания цинка, иногда серебра и понижены содержания свинца |
| 5 | В подрудной части широко развиты прожилки и гнезда кальцита, цеолиты |
| 6 | В рудных залежах отсутствуют сульфидные минералы: пирит, халькопирит, борнит, ковеллин, широко представленные в периферийных зонах |
| 7 | В надрудном пространстве проявлены вторичные медные минералы: халькозин (джерлеит), малахит |

урочены к нижним частям лавовых потоков и образуют многокилометровые стратиформные залежи (Усенко др., 2010).

На территории России, где широко распространены рифтогенные вулканиты, этот тип месторождений характеризуется слабой изученностью, хотя проявления самородной меди в базальтоидных толщах известны в ряде регионов. На Кольском п-ове (Борисов, 1990); на о-ве Новая Земля в Баренцевом море они приурочены к базальтам верхнего девона. В Карелии, на месторождении Кондопожское, в протерозойских metabазальтах, прорванных силлами габбро-долеритов, установлена самородная медь, образующая дендриты и сростания массой до 0.5–10 кг. В Таштагольском районе Кузбасса, на Тайметском месторождении, в зоне окисления венд-силурийских вулканогенно-осадочных пород, самородная медь развита в виде мелкой неравномерной вкрапленности, жил, а также самородков массой до 3.3 т (Синяков и др., 1961). Кроме того, самородная медь отмечалась в траппах на северо-западе Сибирской платформы (Дюжиков, 1973; Дюжиков и др., 1976). В пермо-триасовых эффузивах восточной части Анабарской антеклизы, интродуцированных дайками и силлами триасовых долеритов, были находки самородной меди (Толстов, Томшин, 2002), приуроченные к маломощным прослоям базальтов.

Существует мнение, что большинство рудопроявлений, установленных в базальтах, не представляют промышленного интереса и в мире известен только один район уникальных месторождений самородной меди Калюмет-Хекла – на южном берегу оз. Верхнее (шт. Мичиган, США), где залежи меди сосредоточены на п-ове Кивио (рис. 1). По (Bornhorst, Barron, 2011) рудовмещающими породами являются миндалекаменные базальты, перемежающиеся с пластами конгломератов и относящиеся к среднепротерозойскому Внутриконтинентальному рифту. Медные месторождения на западе полуострова можно разделить на два типа. Первый тип – это стратиформные месторождения самородной меди, размещающиеся в верхних частях субаэральных потоков рифтогенных базальтовых лав и в разделяющих потоки грубообломочных осадочных породах. Происхождение этих месторождений интерпретируется как результат воздействия минерализующих гидротермальных флюидов, отделяющихся из заполнивших рифт базальтов, которые активизировались во время поздне-гренвильской складчатости и мигрировали вверх, через 40–50 млн лет после прекращения активно-го рифтогенеза.

В горах Porcupine развит второй тип месторождений – это стратиформные залежи в рифтогенных черных и серых сланцах и алевролитах с преобладанием халькозина, а не самородной меди. Халькозин образуются в результате пропитки медьсодер-

жащими флюидами в процессе диагенеза и литификации вмещающих отложений. Установлено, что отложение халькозина происходило после осаждения самородной меди. Этот факт демонстрирует пространственное и временное соотношение двух типов месторождений.

В базальтах самородная медь заполняет миндалины в верхних частях покровов и замещает конгломераты. Залежи меди прослежены по простиранию на 10–12 км. Самородная медь и редкое самородное серебро сопровождаются цеолитами, кальцитом, кварцем, хлоритом, пренитом, гематитом, датолитом. Этот парагенезис свидетельствует о малой глубине формирования и низкотемпературном происхождении в условиях резкого дефицита серы (сульфиды в рудах отсутствуют). На месторождениях развиты также секущие кальцитовые жилы, в которых были встречены крупнейшие самородки меди, в том числе пластина величиной 13.7 × 6.7 × 2.4 м и массой около 420 т. За время эксплуатации месторождений (1845–1968 гг.) добыто более 6.6 млн т меди, при среднем содержании 1.84%, а глубина отработки достигла 1600 м. С 1968 г. рудники законсервированы, остаток запасов составил около 500 тыс. т меди, при содержании в руде 0.8–1.5%. Попутно вместе с самородной медью добывалось самородное серебро (Bornhorst, Barron, 2011).

Д. Кокс при описании моделей минеральных месторождений (Cox, Singer, 1992) выделил отдельно медистые базальты, но включил сюда различные группы: кроме тонковкрапленной самородной меди, также медные сульфиды в верхних частях мощных толщ субаэральных базальтов и сульфиды меди в вышележащих осадочных пластах (табл. 2).

МЕДИСТЫЕ БАЗАЛЬТЫ СЕВЕРНОГО УРАЛА

На Южном Урале широко распространены медноколчеданные месторождения в силур-девонских отложениях, а самородная медь образуется в зоне их окисления. Наиболее известные месторождения самородной меди – Туринские рудники. Перспективным регионом на выявление месторождений самородной меди в базальтоидах является восточный склон Северного Урала, где под чехлом мезозоя-кайнозоя широко развиты осадочно-вулканогенные образования нижнего карбона. По своим особенностям (мощные горизонты базальтов, широкое развитие даек и силлов долеритов) эти толщи отнесены к рифтогенным (локальный рифтогенез, по В.Н. Пучкову (2000)). Восточнее, по материалам глубокого бурения (Федоров и др., 2003), выделяется широкое поле развития триасовых базальт-терригенных отложений, ассоциирующих с габброидами и ограниченными близмеридиональными разломами с телами серпентинитов. В раннем триасе Урал оказался на

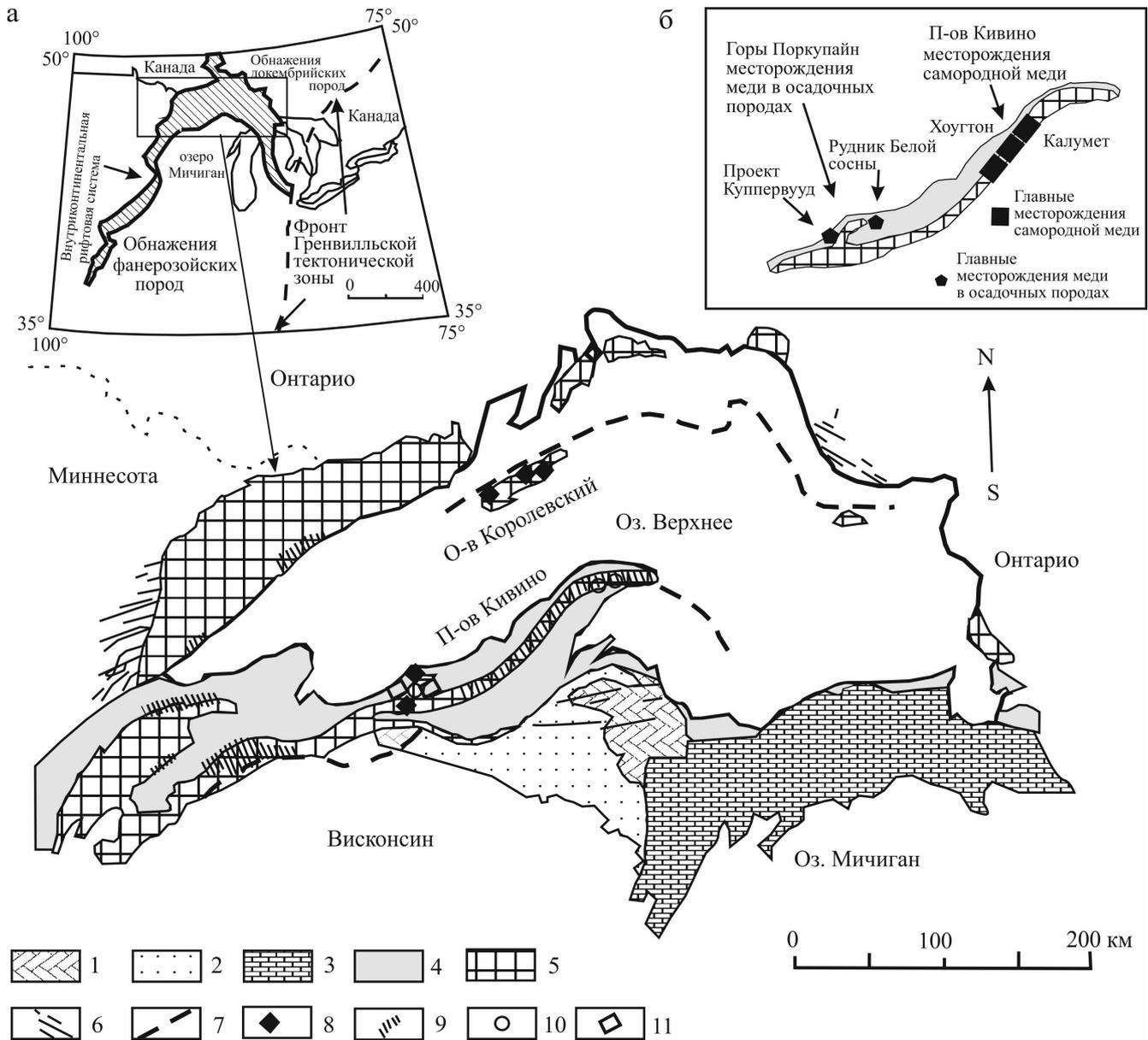


Рис. 1. Схематическая геологическая карта оз. Верхнее и Внутриконтинентальной рифтовой системы района озера Верхнее по (Bornhorst, Barron, 2011). Показано положение концентраций меди в виде вкрапленности и месторождений.

а – положение Внутриконтинентального рифта, б – пространственные контуры п-ова Кивино с положением месторождений самородной меди и гор Поркупайн с месторождениями меди в осадочных породах.

1 – архейские метаморфизованные осадочные и изверженные породы; 2 – раннепротерозойские метаморфизованные осадочные и изверженные породы; 3 – фанерозойские осадочные породы; 4–7 – среднепротерозойская Внутриконтинентальная рифтовая система: 4 – осадочные породы, 5 – изверженные породы, 6 – диабазовые дайки, 7 – главные разломы; 8–9 – вкрапленность самородной меди: 8 – редкая, 9 – обильная; 10–11 – вкрапленность халькозина: 10 – редкая, 11 – обильная.

Fig. 1. Generalized geologic map of Lake Superior and the Midcontinent Rift System of the Lake Superior region (Bornhorst, Barron, 2011). Locations of concentrations of copper in copper-dominated occurrences and deposits are shown around.

а – Overview of the Midcontinent Rift, б – Outlines of the spatially overlapping Keweenaw Peninsula native copper and Porcupine Mountains sediment-hosted copper districts.

1 – Archean metamorphosed sedimentary and igneous rocks; 2 – Paleoproterozoic metamorphosed sedimentary and igneous rocks; 3 – Phanerozoic sedimentary rocks; 4–7 – Mesoproterozoic Midcontinent Rift System: 4 – Sedimentary rocks, 5 – Igneous rocks, 6 – Diabase dikes, 7 – Major faults; 8–9 – Native Copper occurrences: 8 – sparse, 9 – abundant; 10–11 – chalcocite occurrences: 10 – uncommon, 11 – abundant.

Таблица 2. Отличительные признаки месторождений медистых базальтов (Cox, Singer, 1992)

Table 2. Features of the deposits of copper-bearing basalts (Cox, Singer, 1992)

| Критерий | Отличительные признаки месторождений медистых базальтов |
|--|---|
| Вмещающие породы | Субазральные и мелководные морские базальтовые потоки, брекчии и туфы, красноцветные песчаники, туфогенные песчаники, конгломераты. Обломочные фации известняков и черных сланцев |
| Текстурные особенности | Миндалекаменные базальты, брекчированные верхние части лавовых потоков. Обломочные водорослевые карбонатные породы. Отложения с высокой природной пористостью |
| Особенности осадконакопления | Обогащенные медью (100-200 г/т) базальты переслаиваются с пластичными красноцветными осадочными породами и перекрыты переслаивающимися мелкозернистыми морскими и континентальными отложениями, образующимися вблизи палео-экватора |
| Степень метаморфизма | Очень низкая. |
| Околорудные изменения | Кальцит-цеолит + эпидот + К-полевой шпат. Красная окраска пород из-за тонкой вкрапленности гематита |
| Текстуры/структуры руд | Брекчиевидные в верхних частях потоков и заполнение миндалин в базальтах. Мелкие зерна в матрике и вдоль сланцеватости в пластичных породах. Массивные при замещении карбонатов в Kennicott. Мелко-ленточный осадочный халькопирит в Denali |
| Минералогия | Самородная медь, самородное серебро в базальтовых потоках и пластичных осадочных породах. Халькозин и другие сульфиды меди и локально борнит и халькопирит сосредоточены в вышележащих сланцах и карбонатных породах. Мелкозернистый пирит встречается повсеместно, но не создает обильных скоплений с медными сульфидами |
| Геохимические особенности | Повышенные содержания Cu-Ag-Zn-Cd. Co в Boleo, Мексика. Cu/Zn отношение очень высокое, содержание Au аномально низкое |
| Возраст оруденения | Известны месторождения протерозойские, триасовые, юрские и третичные |
| Геодинамическая обстановка | Внутри- и окраинноконтинентальные рифты. Считается, что региональный низкоуровневый метаморфизм может мобилизовать медь в некоторых случаях. Такие месторождения характерны для триасовой части террейна Wrangellia на Аляске |
| Морфология рудных тел | Многоуровневые пластовые залежи |
| Рудоконтроль | Брекчии в верхних частях базальтовых потоков, миндалины, трещины в базальте; сланцы, содержащие органическое вещество; известняки в перекрывающих отложениях. Известняки обломочные, водорослевые, со строматолитовыми окаменелостями |
| Структурный контроль | Синседиментационное сбросообразование также может иметь большое значение |
| Проницаемость пород | Высокая |
| Геофизические методы (магнитная и электромагнитная съемка) | Имеют большое значение при выделении рудных залежей |
| Геофизические методы – радиометрия | Не диагностируются |
| Геофизические методы – гравиметрия | Не диагностируются |
| Запасы и ресурсы | До 6 млн т меди |
| Среднее содержание | 0.8–1.5% |
| Ассоциированные типы месторождений | Осадочная медь. Вулканогенный Mn в Boleo, Мексика |
| Выветривание | Рассеяние медных самородков в потоках дренирующих базальты |

периферии гигантского ареала траппового магматизма, охватившего всю Сибирь (Пучков, 2000). Таким образом, здесь проявились два импульса рифтогенеза, зафиксированных близкими по составу магматическими продуктами.

В последнее время на юго-западном окончании Березовского района ХМАО-Югры, на стыке горного Северного Урала и Западно-Сибирской равнины, в пределах Тагило-Магнитогорской мегазоны (рис. 2), установлено развитие нетрадиционной для

региона самородной медной минерализации (Хултымьинская минерализованная зона). Ее геологическая позиция и состав не характерны для медноколчеданных месторождений, развитых южнее, поэтому остановимся на ней подробно. Здесь широко развиты вулканиты турнейского яруса нижнего карбона, среди которых выделено несколько пачек пород, разделенных пологими надвиговыми структурами. В основании залегают нижнетурнейские андезитовые порфириды и их туфы, прорываемые

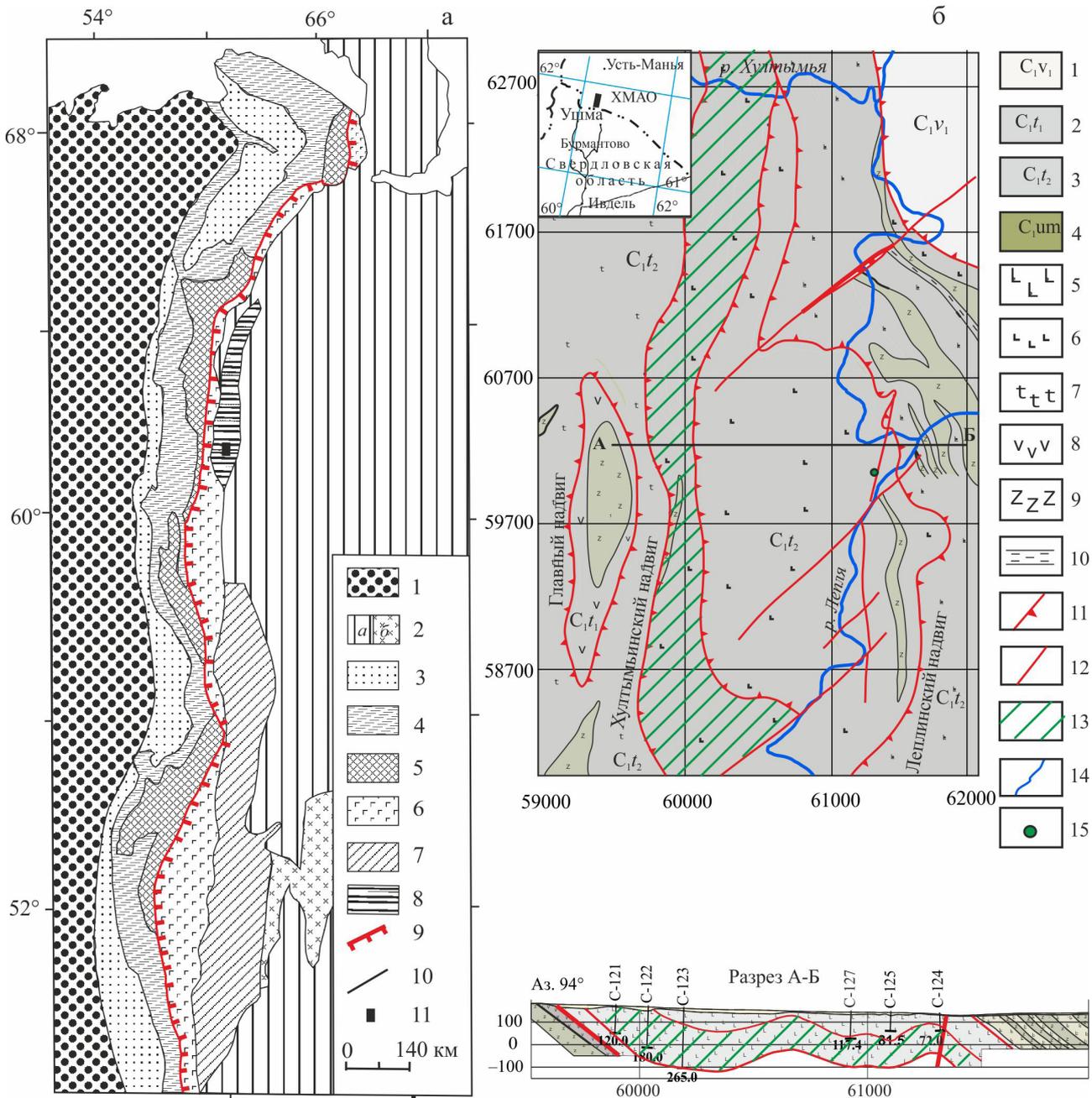


Рис. 2. Схема тектонического районирования Урала (Пучков, 2000 с упрощениями) (а); схема геологического строения и разрез Хултымьинской минерализованной зоны (б).

а. 1 – отложения чехла Русской платформы; 2 – Западно-Сибирская плита: а – чехол, б – палеозойские отложения Зауральской мегазоны под чехлом плиты; 3 – пермская моласса Предуральяского краевого прогиба; 4 – Западно-Уральская мегазона; 5 – Центрально-Уральская мегазона; 6 – Тагило-Магнитогорская мегазона; 7 – Восточно-Уральская мегазона; 8 – рифтогенные образования карбона–триаса; 9 – Главный Уральский разлом; 10 – границы мегазон; 11 – положение рассматриваемой площади.

б. 1 – визейский ярус, нижний подъярус: палеобазальты, их туфы, в основании – пачка углисто-глинистых аргиллитов; 2 – турнейский ярус, верхний подъярус: оливиновые базальты, их туфы, прослой углисто-глинистых аргиллитов; 3 – турнейский ярус, нижний подъярус: андезитовые порфириды, их туфы; 4 – Усть-Маньинский габбро-долеритовый комплекс; 5 – базальты с карбонатными, реже кварцевыми миндалинами, их туфы, прослой туфоалевролитов и редко афанитовых кремней и известняков; 6 – базальты, долерито-базальты с хлоритовыми миндалинами, и прослоями тектонизированных туфоалевролитов; 7 – монотонная толща базальтов с миндалинами карбонатного и хлоритового состава; 8 – андезитовые порфириды и их туфы; 9 – силлы и дайки диабазов; 10 – пласты туфоалевролитов и углисто-глинистых аргиллитов, пропитанных гидроксидами железа; 11 – зоны надвигов; 12 – разломы крутопадающие; 13 – Хултымьинская минерализованная зона с вкрапленностью самородной меди; 14 – реки Хултымья и Лепля; 15 – рудопроявление меди Лепля. На **врезке** заштрихованный прямоугольник – положение изучаемой площади.

Fig. 2. Scheme tectonic zoning of the Urals (Puchkov, 2000 with simplifications) (a); scheme of the geological structure and cross-section of Hultyminskaya mineralized zone (б).

a. 1 – Russian platform cover sediments; 2 – West Siberian plate: *a* – cover sediments; *б* – Paleozoic sediments of Zauralskaya Megazone under the cover plate; 3 – Permian molasse the Urals foredeep; 4 – West Uralian Megazone; 5 – Central Uralian Megazone; 6 – Tagil-Magnitogorsk Megazone; 7 – East Uralian Megazone; 8 – rift formation of Carbon-Triassic; 9 – The Main Uralian fault; 10 – megazone borders; 11 – the location of the area.

б. 1 – Viséan Stage, Lower Substage: paleobasalts, their tuffs, in the bottom there is a pack of carbonaceous mudstone and clay; 2 – Tournaisian Stage, Upper Substage: olivine basalts, their tuffs, seams of carbonaceous mudstone; 3 – Tournaisian Stage, Lower Substage: andesite porphyries, their tuffs; 4 – Ust'-Man'insky gabbro-dolerite complex; 5 – basalts with almonds carbonate, rarely quartz, their tuffs; interlayers tufoalevolitts rarely aphanic chert and limestone; 6 – basalts, dolerite-basalts with chlorite almonds, and interbedded tectonized tufoalevolitts; 7 – monotonic thickness of basalt with carbonate and chlorite almonds; 8 – andesitic porphyrites and their tuffs; 9 – diabase dykes and sills; 10 – tufoalevolitts seams and carbonaceous mudstone impregnated with iron hydroxides; 11 – overthrust zone; 12 – steeply dipping faults; 13 – Hultyminskaya mineralized zone with native copper; 14 – Rivers Hultymya and Leplya; 15 – copper ore occurrence Leplya. Inset filled rectangle – position of the area.

силлами и штоками долеритов, мощность отложенный более 200 м.

Сверху проходит Главный надвиг, разделяющий породы нижне- и верхнетурнейского подъяруса. Он выражен мощной (5–20 м) зоной тектонического меланжа, где в матрике тектонизированных туфоалевролитов содержится переменное количество тектонических линз и пластин базальтов, долеритов и андезитов. Выше развиты верхнетурнейские оливиновые базальты и их туфы с субвулканическими дайками и силлами долеритов, разделенные на три пластины Хултымьинским и Леплинским надвигами. Надвиги мощностью 3–20 м представляют собой зоны милонитизированных туфоалевролитов, содержащих разновеликие линзовидные тектонические блоки базальтов. На востоке площади многочисленные силлы долеритов составляют более 50% разреза и выделяются в магнитном поле.

Вышележащие визейские образования начинаются с пачки углисто-глинистых аргиллитов, перекрываемой базальтами и туфами, пропитанными гидроксидами железа.

Медная минерализация приурочена к пластине, заключенной между Хултымьинским и Леплинским надвигами, состоящей из многочисленных ритмов, имеющих трехчленное строение. Снизу вверх в каждом ритме чередуются залегающие в основании лавовых потоков долеритоподобные базальты с черными, темно-зелеными миндалинами (хлорит, серпентин, цеолиты). Выше они сменяются более крупнозернистыми разностями с преобладающими белыми (карбонатными, реже кварцевыми) миндалинами. Верхнюю часть ритма (часто выпадающую из разреза) слагают тонкозернистые, плотные, мягкие, неслоистые туфоалевролиты, туфоаргиллиты, редко песчаники, почти всегда бурой окраски (при первично черном цвете) за счет пропитки гидроксидами железа. Все члены отдельного ритма имеют мощности, не превышающие первые метры. Тонкий характер терригенной составляющей указывает на значительное прогибание площади во время рифтогенеза и сравнительно глубоководные условия накопления.

По изгибам маркирующих прослоев туфоалевролитов и надвигов установлена серия мелких

складок. Основной является антиклиналь на западе, в ядре которой развиты породы нижнетурнейского подъяруса. Ее восточное пологое крыло изгибается в серию сопряженных антиклиналей и синклиналей с размахом крыльев 300–700 м, что обусловило широкое развитие пород именно средней пластины на данном уровне эрозионного среза.

Из рудных минералов установлены пирит, реже самородная медь, еще реже отмечаются медьсодержащие минералы – халькопирит, халькозин, борнит, ковеллин и т.д. Чаще всего в скважинах вскрываются интервалы с развитием пирита, встречающимся в виде пленок, примазок по трещинам, отдельных кристаллов размером 1–2 мм и, редко, гнездовых скоплений до 0.5–1.0 см. Иногда развивается гематит по трещинам, реже он пропитывает всю породу.

В керне скважин, группирующихся в меридиональную полосу на западной половине площади, установлены выделения самородной меди размером от менее 1 мм до 7 × 10 мм. Самородная медная минерализация развита в базальтах в следующих разновидностях: 1) тонкая, от долей до 2 мм вкрапленность зерен в массе породы; 2) тонкая вкрапленность в миндалинах или сплошное выполнение миндалина размером до 5 × 7 мм; 3) примазки по трещинам, по плоскостям скольжения на карбонате или хлорите в виде тончайших пленок площадью до 2 × 3 мм; 4) вкрапленность до 2 мм в тонких (4–5 мм) кварц-карбонатных прожилках; 5) самородки размером 5 × 10 мм в прожилках хлоритового или кварц-хлоритового состава мощностью 1.5–3.0 см. В туфоалевролитах отмечается вкрапленность размером до 1–5 мм.

В скважинах отдельные интервалы с развитием самородной медной минерализации имеют мощность от десятков сантиметров до нескольких метров и в отдельных случаях до первых десятков метров. По вертикали размах спорадически встречающейся медной минерализации достигает 228 м, по падению отдельные тела с медной минерализацией прослежены на 200–360 м. Несмотря на широкое распространение, минерализация имеет рассеянный характер, а по результатам опробования содержания меди крайне низкие (менее 0.1%), и лишь не-

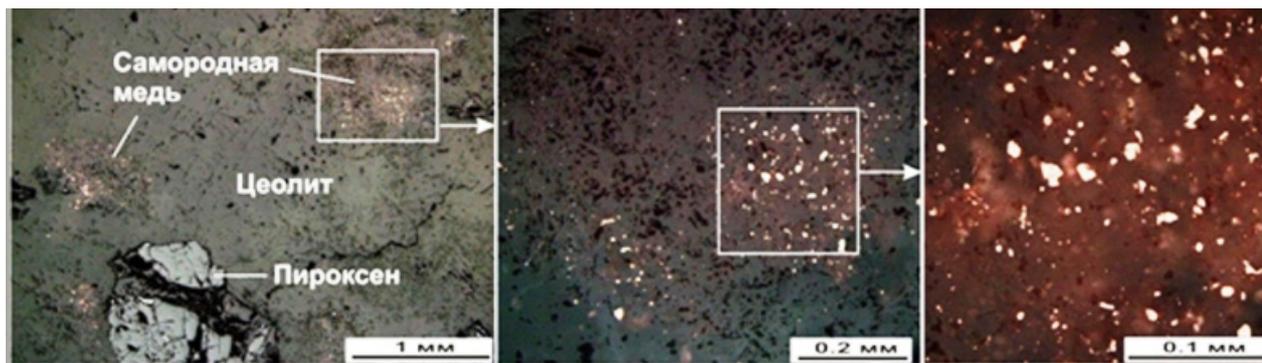


Рис. 3. Самородная медь с цеолитами.

Центральная часть Хултымьинской минерализованной зоны, скважина С-102, инт. 68.9–69.5 м.

Fig. 3. Native copper with zeolites.

The central part of the mineralized zone Hultyminskoy, drill-hole C-102, Int. 68.9–69.5 m.

большое количество проб содержит более 0.5% меди. Относительно повышенные концентрации меди (от 0.1 до >1%) локализуются в гнездо- и линзовидных, пространственно разобщенных, небольшого размера телах.

Вторичные изменения в базальтоидах, содержащих вкрапленность самородной меди, выражены главным образом в хлоритизации, установлено наличие серпентина, смектитов и смешаннослойных фаз хлорит–смектит. Оливин повсеместно замещен иддингситом и оксидами железа. Миндалины и трещины в породах выполнены агрегатом хлорита, а на отдельных участках – цеолитами и карбонатом.

В аншлифах метасоматически измененных, карбонатизированных базальтов и долеритов установлены самородная медь, пирит, халькопирит, редко другие медные минералы.

Наиболее часто *самородная медь* встречается в оливиновых долеритах, при этом выделения минерала преимущественно приурочены непосредственно к вкрапленникам разложенного оливина. Кроме того, медь встречается в интерстициях и микротрещинках плагиоклаза и клинопироксена. Микровыделения самородной меди отмечены и в миндалинах, выполненных хлоритом и цеолитами. Форма выделений самородной меди самая разнообразная – каплевидная, округлая, вытянутая, иногда с четкими кристаллографическими гранями. Максимальный размер выделений составляет 0.25 мм, минимальный – первые микроны (рис. 3).

Изредка наблюдается *пирит* двух генераций. Более ранний образует вкрапленность сильно корродированных, неправильной формы, пористых зерен (0.005–0.2 мм), рассеянных в породе. Пирит второй генерации слагает кососекущие, выдержанные по толщине жилки (0.05–0.3 мм), а также присутствует в породе в виде единичных вкрапленников идиоморфной (кубической,

пентагон-додекаэдрической, в единичных случаях октаэдрической), реже гипидиоморфной формы (0.058–3.53 мм).

Халькопирит содержится в небольшом количестве. Образует самостоятельную вкрапленность изометричных зерен (0.015–0.2 мм), сростания с пиритом, а также тонкие (до ≈0.01 мм) оторочки вокруг зерен пирита и выполнение трещин в последнем.

Борнит встречается в тесной ассоциации с халькопиритом, образует каймы вокруг пиритовых зерен, выполняет трещины и образует включения в халькопирите в виде отдельных вкрапленных зерен (0.02 мм).

Ковеллин встречается в отдельных мелких зернах в тесном сростании с халькопиритом и борнитом, выполняющим трещины и пустоты в кристаллах пирита, реже – в виде вкрапленников в породе.

На востоке площади расположено рудопроявление меди Лепля, выявленное при геологическом разведочном разломе (до 2 м), в котором на протяжении около 40 м фрагментарно установлена вторичная медная минерализация, развитая только на уровне зоны окисления и не распространяющаяся на глубину, что установлено бурением до 100 м. Здесь развита жарлеитовая руда с содержаниями меди 1–2%. В аншлифах содержание рудных минералов от 5 до 75%, причем халькопирит и пирит образуют единичные зерна.

Жарлеит – главный рудный минерал, относящийся к группе халькозина, идентифицирован рентгенографическим анализом. Характер его распределения (петельчатые, заливообразные, “рваные” границы зерен) свидетельствуют о замещении им породообразующих фаз. Халькозин экзогенного происхождения характерен для зоны цементации. Н.А. Смольянинов (1972) объясняет образова-

Таблица 3. Сравнительная характеристика медного оруденения Хултымьинской минерализованной зоны и месторождений оз. Верхнего (США)

Table 3. Comparative characteristics of copper mineralization Hultyminskaya mineralized zone and deposits of the Lake Superior (USA)

| № п/п | Характеристика элементов | Хултымьинская минерализованная зона | Месторождения оз. Верхнего |
|-------|---|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Геотектоническая позиция | Локальный рифтогенез | Внутриконтинентальный рифт |
| 2 | Рудовмещающая формация, ее мощность и возраст | Вулканогенная базальтоидная (оливиновых базальтов), мощность – 270–800 м, C ₁ t ₂ | Осадочно-вулканогенная базальтоидная, мощностью 5–15 км, RF |
| 3 | Синхронные с вулканизмом и более молодые интрузивные формации | Габбро-долеритовый гипабиссальный комплекс, C ₁ | Габбро-троктолитовая, габбро-сиенитовая, сиенит-диоритовая, диабазовая и риолитовая дайковой серии |
| 4 | Рудоконтролирующие и рудовмещающие структуры | Пологие надвиговые зоны, тектонизированные прослои туфоалевролитов и послонные зоны повышенной трещиноватости в сочетании с крутопадающими зонами разрывов на гофрированном восточном крыле пологой антиклинальной складки | Сочетание крутопадающих разрывов и оперяющих их нарушений высоких порядков, флексуобразных перегибов, с послонными зонами повышенной трещиноватости и брекчирования |
| 5 | Рудовмещающие породы | Миндалекаменные оливиновые базальты, их туфы разной гранулометрии | Миндалекаменные базальты верхних частей лавовых покровов, конгломераты и песчаники |
| 6 | Гидротермально-метасоматические изменения вмещающих пород | Карбонатизация, хлоритизация, серпентинизация, цеолитизация, по трещинам развиваются магнезиальный серпентин (иддингсит) и магнезиальный монтмориллонит (боулингит). | Карбонатизация, хлоритизация, окварцевание, эпидотизация; развиты пумпеллиит и пренит, цеолиты |
| 7 | Ярусность размещения оруденения в разрезе рудовмещающей толщи | Пологая, наклоненная к востоку минерализованная зона, в которой собственно оруденелые тела располагаются многоярусно | Многоярусное |
| 8 | Морфология рудных тел | Плащеобразная, лентообразная, линзообразная, реже жильная | Плащеобразная, лентообразная, линзообразная, жильная |
| 10 | Минеральный состав руд | Самородная медь, пирит, редко халькопирит, в приповерхностной зоне джарлеит, медная зелень (малахит) | Самородная медь, самородное серебро, халькозин |
| 11 | Наличие рудных тел с промышленными параметрами | Есть рудные пересечения мощностью 1–3 м, с содержанием меди 0.1–0.4%; редко 1% и более. В окисленных рудах единичные пересечения 1–2 м, с содержанием 1.38–2.25% меди | Рудные тела мощностью до 0.5–5.0 м со средним содержанием меди 1.48% |
| 12 | Масштаб месторождений | Крупнообъемная минерализованная зона с низкими содержаниями меди | Уникальное месторождение |
| 13 | Рудная формация | Медно-цеолитовая (самородной меди) | Медно-цеолитовая (самородной меди) |

ние этого халькозина воздействием раствора медного купороса на пирит.

Анализ размещения самородной медной и сульфидной минерализации в пространстве по данным бурения позволил выявить минеральную зональность на площади: центральная часть вмещает выделения самородной меди, а на периферии (как выше, так и ниже по разрезу и во фланговых частях) развита сульфидная минерализация; ближе – с убогой вкрапленностью халькопирита, а на удалении – пирита. В целом бурением вскрыта пологая, мощная (до 166–228 м), протяженная (до 3500 м) Хултымьинская минерализованная зона, включающая интервалы с развитием самородной меди. По падению эта минерализованная зона прослежена более чем на

500 м. Под минерализованной зоной здесь понимается весь объем пород, в котором развиты выделения самородной меди различной формы (вкрапленность, примазки, кристаллические выделения, самородки и т.д.) и масштабов (интервалы, отдельные находки).

В плане минерализованная зона имеет субизометричную, вытянутую в меридиональном направлении форму. Пластовая форма минерализованной зоны, размещение ее между пологими надвиговыми структурами указывают на “субпластовую” миграцию рудоносных растворов по прослоям тектонизированных туфоалевролитов. Об источнике и очаге растворов можно высказать две версии: либо источник располагался далеко к востоку, на погружении всей базальтовой толщи, в зоне “корней”

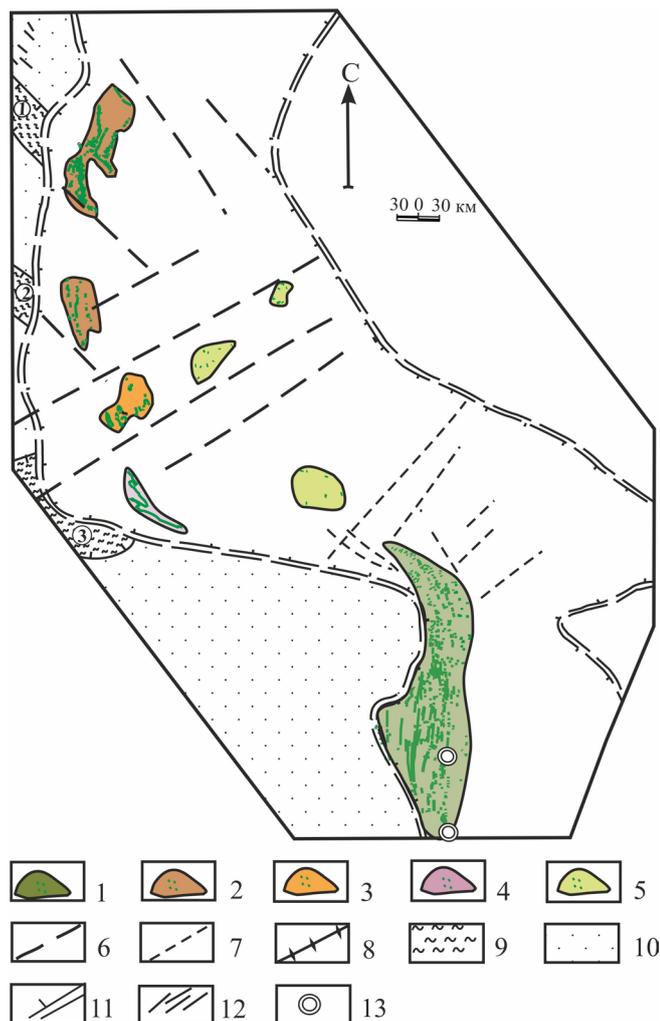


Рис. 4. Схема расположения полей рифтогенных базальтов, даек и силлов на восточной границе Сибирской платформы и в Верхоянском складчатом поясе (Константинов и др., 2003; Аристов и др., 2004; с упрощениями).

1–5 – поля развития рифтогенных базальтов, даек и силлов разного возраста: 1 – палеозойских, 2 – карбон-пермских, 3 – пермских, 4 – триасовых, 5 – меловых; 6–8 – разломы: 6 – сквозные региональные, 7 – переходного типа, 8 – рифтогенные; 9 – рифты (1 – Кютюндинский, 2 – Собопольский, 3 – Вилуйский); 10 – Сибирская платформа; 11 – границы Верхоянского складчатого пояса; 12 – дайки основного состава; 13 – массивы ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов.

Fig. 4. The circuit arrangement of fields of rift basalts, dikes and sills on the eastern border of the Siberian Platform and in the Verkhoyansk fold belt by (Konstantinov et al., 2003; Aristov et al., 2004; with simplifications).

1–5 – field of rift basalts, dikes and sills of all ages: 1 – Paleozoic, 2 – Carboniferous-Permian, 3 – Permian, 4 – Triassic, 5 – Cretaceous; 6–8 – faults: 6 – through regional, 7 – transition, 8 – riftogenic; 9 – rifts (1 – Kyutyungdinsky, 2 – Sobopol'sky, 3 – Vilyusky); 10 – Siberian Platform; 11 – boundary of the Verkhoyansk fold belt; 12 – dike of basic composition; 13 – massifs of ultrabasic-alkaline rocks and carbonatites.

надвигов; либо очаг находится на глубине под восточным флангом минерализованной зоны и растворы поднимались вверх по близмеридиональной ослабленной тектонической структуре, связанной с рифтогенными процессами, и дальше рассеивались по ранее тектонизированным прослоям туфоалевролитов. Таким образом, здесь выявлено меднорудное проявление нового, нетрадиционного для Урала типа с пластовой залежью вкрапленной самородной меди в базальтоидном разрезе верхнетурнейского возраста. Выявление нетрадиционной для Урала медной минерализации имеет несомненный научный и, возможно, практический интерес на фоне широкого развития рудовмещающих базальтоидных толщ нижнего карбона на погружении восточного склона под рыхлые отложения. Можно предполагать, что выявленная Хултымьинская минерализованная зона является не единственной и в полосе развития оливиновых базальтов и долеритов нижнего карбона возможно нахождение подобных объектов. Несмотря на то что промышленно значимых рудных концентраций не установлено, весьма важным представляется изучение именно крупнообъемных первичных выделений самородной меди как возможной основы всех последующих ее концентраций. Месторождения меди района оз. Верхнее обычно принимаются в качестве эталонных объектов (см. табл. 2, 3).

Один из наиболее перспективных регионов на территории России занимает периферийную восточную часть Сибирской платформы и смежные структуры Верхоянского складчатого пояса (рис. 4), где широко развиты поля долеритовых даек, силлов и покровов базальтов (Константинов и др., 2003; Аристов и др., 2004), маркирующие рифтогенные структуры разного возраста. В Южно-Верхоянском синклинии в расланцованных миндалекаменных базальтах и туфах верхнего рифея Билякчанской зоны и в Сетте-Дабанской зоне в рифтогенных базальтах девона установлена вкрапленная халькозина, борнита, самородной меди, куприта, ковеллина и малахита (Кутырев и др., 1986, 1988; Давыдов, Тянь, 2001). Все эти находки подтверждают высокий потенциал разновозрастных рифтогенных образований этого региона на медное оруденение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Медистые базальты – своеобразная группа месторождений, имеющая четкий геодинамический, вещественный, структурный контроль при фактической невыраженности каких-либо внешних минералого-вещественных признаков, кроме наличия самородной меди и серебра. Несмотря на устоявшееся мнение о небольших масштабах оруденения, имеются примеры уникальных месторождений такого типа, а широкое развитие проявлений само-

родной меди в рифтогенных базальтоидах Северного Урала может служить обнадеживающим признаком. Исходя из региональной позиции, благоприятными являются рифтогенные структуры длительного развития, где более древние, глубоко залегающие базальтовые толщи даже при начальных метаморфических преобразованиях могут выделять металлосодержащие флюиды, формирующие рудные залежи на верхних уровнях. Такими благоприятными регионами являются рассмотренные восточный склон Северного Урала и Восточная Сибирь.

Работа выполнена при финансовой поддержке госбюджетной темы № 72-5 ИГЕМ РАН “Металлогения уникальных рудных районов вулканогенных поясов и зон орогенеза различного возраста окраинноморской литосферы Северо-Востока Азии” и Программы президиума РАН № 4 “Месторождения стратегического сырья в России: инновационные подходы к их прогнозированию, оценке и добыче”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аристов В.В., Соловьев К.В., Орлова Г.Ю., Тихонова Н.В. (2004) Этапы золотого и серебряного рудообразования в Верхоянской складчатой области. *Руды и металлы*, (3), 5-15.
- Борисов А.Е. (1990) Вулканизм и самородное медное оруденение в раннем протерозое Кольского полуострова. Апатиты: ГИ КНЦ АН СССР, 70 с.
- Давыдов Ю.В., Тянь О.А. (2001) Сетте-Дабанская металлогеническая зона: стратиформная Cu минерализация, Nb, Ta, PЗЭ и апатитовая минерализация в щелочно-ультраосновных породах и карбонатитах. *Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия)*. М.: МАИК “Наука/Интерпериодика”, 320-322.
- Дюзжиков О.А. (1973) О меденосном горизонте в трапах северных склонов Хараелахских гор. Северо-Сибирский никеленосный регион и его промышленные перспективы. Л.: НИИГА, 58-65
- Дюзжиков О.А., Дислер В.В., Федоренко В.А. (1976) Стратиформные проявления самородной меди в вулканогенных породах севера Сибирской платформы. *Геология рудных месторождений*, (2), 62-75.
- Каюпов А.К., Ким В.А., Идырышев Р.Б. (1975) Закономерности проявлений самородной меди в эффузивных образованиях Казахстана. Алма-Ата: Наука, 79-81.
- Константинов М.М., Аристов В.В., Соловьев К.В. (2003) Принципы районирования Верхоянской металлогенической провинции на благородные металлы. *Отечественная геология*, (3), 24-27.
- Кутырев Э.И., Соболев А.Е., Толстых А.Н., Шлейкин П.Д. (1986) Медистые песчаники и медистые базальты южной части Билякчанской зоны. *Разведка и охрана недр*, (11), 11-13.
- Кутырев Э.И., Соболев А.Е., Исправников А.В., Толстых А.Н., Шлейкин П.Д. (1988) Медистые песчаники и медистые базальты Сетте-Дабанского региона. *Стратиформное оруденение Якутии*. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 74-87.
- Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Сред-

- него Урала. Уфа: ГИЛЕМ, 146с.
- Синяков В.И., Чичкова Т.А. (1961) Крупная плита самородной меди из Горной Шории. *Записки ВМО*, 90(3), 282 с.
- Смолянинов Н.А. (1972) Практическое руководство по минералогии. М.: Недра, 360 с.
- Толстов А.В., Томшин М.Д. (2002) Самородная медь пермо-триасовых эффузивов Уджинского поднятия (Якутия). *Записки РМО*, 131(6), 57-60.
- Усенко О.В. (2010) Условия образования месторождений самородной меди Воыно-Подольской плиты. *Известия Национальной Академии наук Украины*, (4), 128-133.
- Федоров Ю.Н., Иванов К.С., Захаров С.Г., Кормильцев В.В., Ерохин Ю.В., Погромская О.Э., Князева И.В., Ронкин Ю.Л., Каретин Ю.С., Сурина О.В., Пуртова С.И., Глушко Н.К. (2003) Геологическое строение и стратиграфия триасовых отложений Северо-Сосьвинского грабена. *Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО*. Т. 1. Ханты-Мансийск: Наука Сервис, 114-123.
- Bornhorst T.J., Barron R.J. (2011) Copper deposits of the western Upper Peninsula of Michigan. *Geol. Soc. Amer. Field Guide*, 24, 83-99.
- Cornwall H.R. (1956) A summary of ideas on the origin of native copper deposits. *Econ. Geol. and Bull. Soc. Econ. Geologists*, 51(7), 1-8.
- Cox D.P., Singer D.A. (1992) Mineral Deposit Models. U.S. Geol. Surv. Bull. 1693. Washington, 379 p.

REFERENCES

- Aristov V.V., Solov'ev K.V., Orlova G.Yu., Tikhonova N.V. (2004) Stages of gold and silver mineralization in Verkhoyansk folded area. *Rudy i metally*, (3), 5-15. (In Russian)
- Borisov A.E. (1990) *Vulkanizm i samородное медное оруденение v rannem proterozoe Kol'skogo poluostrova* [Volcanism and native copper mineralization in the Early Proterozoic the Kola Peninsula]. Apatity, KNTs Akad. Nauk SSSR, 70 p. (In Russian)
- Bornhorst T.J., Barron R.J. (2011) Copper deposits of the western Upper Peninsula of Michigan. *Geol. Soc. Amer. Field Guide*, 24, 83-99.
- Cornwall H.R. (1956) A summary of ideas on the origin of native copper deposits. *Econ. Geol. and Bull. Soc. Econ. Geologists*, 51(7), 1-8.
- Cox D.P., Singer D.A. (1992) Mineral Deposit Models. U.S. Geol. Surv. Bull. 1693. Washington, 379 p.
- Davydov Yu.V., Tyan O.A. (2001) Sette-Daban metallogenic zone: stratiform Cu mineralization, Nb, Ta, REE and apatite mineralization in the alkaline-ultramafic rocks and carbonatites. *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Tectonics, geodynamics and metallogeny of Republic Sakha (Yacutiya)] Moscow: MAIK “Nauka/Interperiodika”, 320-322. (In Russian)
- Dyuzhikov O.A. (1973) About copper-bearing horizon in the traps of the northern slopes of the Kharayelakh Mountains. *Severo-Sibirskiy nikelenosnyi region I ego promyshlennye perspektivy* [Northern Siberia Ni-bearing region and their industrial promising] Leningrad, NIIGA, 58-65. (In Russian)
- Dyuzhikov O.A., Disler V.V., Fedorenko V.A. (1976) Stratiform manifestations of native copper in the volcanic

- rocks of the north of the Siberian Platform. *Geol. Rudn. Mestorozhd.* (2), 62-75. (In Russian)
- Fedorov Yu.N., Ivanov K.S., Zakharov S.G., Kormil'tsev V.V., Erokhin Yu.V., Pogromskaya O.E., Knyazeva I.V., Ronkin Yu.L., Karetin Yu.S., Surina O.V., Purtova C.I., Glushko N.K. (2003) The geological structure and stratigraphy of Triassic North Sos'va Graben. *Puti realizatsii neftegazovogo potentsiala KhMAO. T. 1* [Ways of realizing the oil and gas potential of the Khanty-Mansiysk Autonomous Republic. V. 1]. Khanty-Mansiysk, Nauka Servis Publ., 114-123. (In Russian)
- Kayupov A.K., Kim V.A., Idyryshev R.B. (1975) Patterns of manifestations of native copper in the volcanic formations of Kazakhstan. *Tsvetnye i blagorodnye metally Kazakhstana* Color and precious metal of Kazakstan. Alma-Ata, Nauka Publ., 79-81. (In Russian)
- Konstantinov M.M., Aristov V.V. Solov'ev K.V. (2003) The principles of zoning Verkhoyansk metallogenic province in precious metals. *Otechestvennaya geologiya*, (3), 24-27. (In Russian)
- Kutyrev E.I., Sobolev A.E., Ispravnikov A.V., Tolstykh A.N., Shleykin P.D. (1988) Cuprous sandstones and cuprous basalts Sette-Daban region. *Stratiformnoe orudnenie Yakutii* [Stratiform mineralization of Yakutiya] Yakutsk, YaF SO AN SSSR, 74-87. (In Russian)
- Kutyrev E.I., Sobolev A.E., Tolstykh A.N., Shleykin P.D. (1986) Cuprous sandstones and cuprous basalts of southern part Bilyakchanskaya zone. *Razvedka i okhrana nedr*, (11), 11-13. (In Russian)
- Puchkov V.N. (2000) *Paleogeodynamika Juzhnogo I Srednego Urala* [Paleogeodynamics Southern and Middle Urals]. Ufa, Gillem Publ., 146 p. (In Russian)
- Sinyakov V.I., Chichkova T.A. (1961) Large plates of native copper from Mountain Shoria. *Zapiski WMO*, **90**(3), 282-283. (In Russian)
- Smolyaninov N.A. (1972) *Prakticheskoe rukovodstvo po mineralogii* [Practical guidance on mineralogy]. Moscow, Nedra Publ., 360 p. (In Russian)
- Tolstov A.V., Tomshin M.D. (2002) Native copper of Permian-Triassic volcanics Udzhinsk Raise (Yakutya). *Zapiski WMO*, **131**(6), 57-60. (In Russian)
- Usenko O.V. (2010) The conditions of formation of native copper deposits Volyn'-Podolsk Plate. *Izvestiya Natsionalnoi Akademii nauk Ukrainy*, (4), 128-133. (In Russian)