

Палеовулканизм, поисковые признаки и перспективы обнаружения нового промышленного медно-цинково-колчеданного оруденения в Верхнеуральском рудном районе (Южный Урал)

Сурин Т. Н.

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ), г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Охарактеризованы основные закономерности размещения колчеданного оруденения в Верхнеуральском рудном районе (Южный Урал). Выделены металлогенические факторы первого рода (стратиграфический, магматический, литологический и тектонический) и второго рода (геотектонический и палеовулканический). Кратко описана комбинированная конвективно-постмагматическая модель формирования колчеданных руд, учитывающая генетическую связь колчеданного рудообразования с кислым магматизмом базальт-риолитовой (контрастной) формации, причём выделяются четыре вида такой связи: пространственная, временная, энергетическая и вещественная. Перечислены поисковые признаки колчеданного оруденения уральского типа (геологические, геохимические и геофизические), сформулированные отдельно для различных прогнозно-металлогенических категорий (рудные районы, рудные узлы, рудные поля и месторождения). В южной части рудного района выделен перспективный для выявления нового оруденения участок, для которого подсчитаны прогнозные ресурсы кат. P₂ и дана рекомендация для проведения поисковых работ.

Ключевые слова: Южный Урал, Верхнеуральский рудный район, колчеданное оруденение, уральский тип, металлогенические факторы, палеовулканизм, генетическая модель, поисковые признаки, прогнозные ресурсы.

Для цитирования: Сурин Т. Н. Палеовулканизм, поисковые признаки и перспективы обнаружения нового промышленного медно-цинково-колчеданного оруденения в Верхнеуральском рудном районе (Южный Урал). Руды и металлы. 2023. № 4. С. 6–22. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10016.

Paleovolcanism and the prospecting indicators and outlooks for discovery of new economic-grade copper-zinc massive sulfide ore deposits in the Verkhneuralsk ore region, Southern Urals

Surin T. N.

A. P. Karpinsky All-Russian Research Geological Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russia

Annotation. The principal regularities of distribution of the VMS type mineralization in the Verkhneuralsk ore region in the Southern Urals are characterized. Metallogenic factors of the first kind (stratigraphic, magmatic, lithological, and tectonic) and of the second kind (geotectonic and paleovolcanic) are shown. A combined convective-postmagmatic ore formation model for the VMS is briefly described, that takes into account a genetic relationship of the VMS ore formation to silicic magmatism of the basalt-rhyolite (“contrast”) volcanic formation, four types of such relationship being distinguished, the spatial, temporal, energetic, and compositional ones. The geological, geochemical, and geophysical prospecting indicators for the Ural type VMS mineralization are presented separately for various classes of forecasting metallogenic areas (ore regions, ore clusters, and ore fields and deposits). In the southern portion of the ore district, a site promising for revealing a new ore deposit has been identified, for which the category P₂ forecasted resources have been estimated and a recommendation has been given for the geological exploration.

Keywords: Southern Urals, Verkhneuralsk ore region, volcanogenic massive sulfide (VMS) mineralization, Ural type VMSD, metallogenic factors, paleovolcanism, genetic model of ore formation, prospecting guides, forecasted resources.

For citation: Surin T. N. Paleovolcanism and the prospecting indicators and outlooks for discovery of new economic-grade copper-zinc massive sulfide ore deposits in the Verkhneuralsk ore region, Southern Urals. Ores and metals, 2023, № 4, pp. 6–22. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10016.



Введение. Верхнеуральский рудный район справедливо считается одним из эталонов колчеданоносных рудных районов уральского типа [3, 4, 9, 12, 17]. Он расположен в центральной части Учалино-Александринской зоны [5] в северо-восточной части Магнитогорской мегазоны, крупнейшей колчеданоносной структуры Южного Урала (рис. 1). В пределах Верхнеуральского района известны восемь медно-цинково-колчеданных месторождений и около трёхсот рудопроявлений. По нашим сведениям, этот район не имеет себе равных на Урале по своей изученности комплексными, в том числе глубинными, методами. Имеются многочисленные исследования его геологического строения [1, 4, 5, 9, 10, 12, 15, 17, 20, 22]. Район наиболее благоприятен для выявления закономерностей локализации колчеданных месторождений, что обеспечивается не только весьма представительным фактическим материалом, но и хорошей сохранностью в его пределах палеовулканических структур и отсутствием значительных сдвиговых и складчатых деформаций.

Палеовулканизм. Палеовулканические структуры района изучались многими исследова-

телями [3–5, 9, 10, 12, 15, 17, 20–22], в том числе и автором в процессе проведения детального объёмного картирования Орловской площади (см. рис. 1). Основные типы раннеживетского вулканизма – трещинный и центральный. После активного трещинного вулканизма возникали комбинированные вулканы сложного строения. Вначале это были щитовые постройки, которые в процессе эволюции осложнялись небольшими насыпными пирокластическими конусами, а также периферическими и вершинными кальдерами. В посткальдерные стадии эти базальтовые сооружения достраивались куполовидными вулканами и экструзивными куполами кислого состава. Вулканизм имел место в подводной среде и сопровождался активной фумарольной деятельностью. Щитовые вулканы проявляли деятельность, близкую к гавайской. Всего в Верхнеуральском районе известно пять крупных щитовых вулканов (рис. 2). Цепочки базальтовых вулканов образуют хорошо выраженные в палеорельефе разновозрастные гряды. На примере базальтовых гряд Учалинского и Верхнеуральского районов показано, что более поздняя Межозёрная гряда частично перекрывает

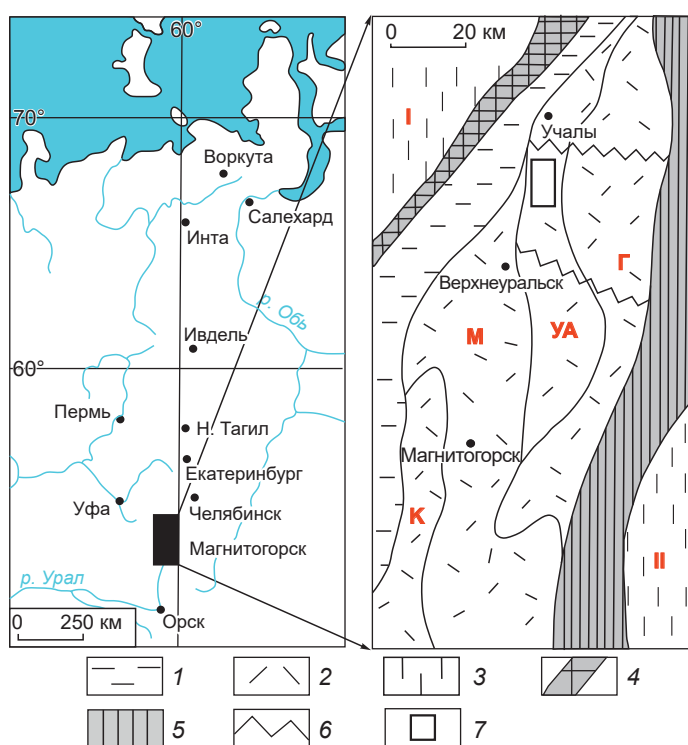


Рис. 1. Структурно-формационное районирование Восточно-Магнитогорской зоны Южного Урала:

Магнитогорская мегазона: 1 – Западно-Магнитогорская зона, 2 – Восточно-Магнитогорская зона (структурно-формационные подзоны: Г – Гумбейская, УА – Учалино-Александринская, М – Магнитогорская, К – Кизильская); 3 – сопредельные мегазоны: Центрально-Уральская (I) и Восточно-Уральская (II); крупнейшие сутурные зоны: 4 – Главная Уральская, 5 – Уйско-Кацбахская; 6 – зоны поперечных дислокаций; 7 – Орловская площадь

Fig. 1. Structural-formational regionalization of the East Magnitogorsk zone of the Southern Urals:

Magnitogorsk megazone: 1 – West Magnitogorsk zone, 2 – East Magnitogorsk zone (structural-formational subzones: G – Gumbeisk, UA – Uchaly-Alexandrinsk, M – Magnitogorsk, K – Kizilsk); 3 – adjacent megazones: Central Ural (I) and East Ural (II); the largest suture zones: 4 – Main Ural, 5 – Uysk-Katsbakh; 6 – zones of transverse dislocations; 7 – Orlovsk area

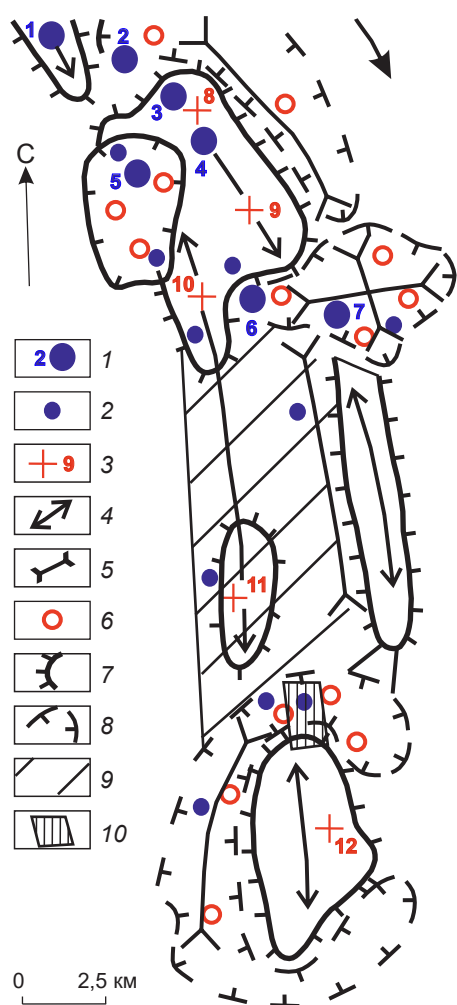


Рис. 2. Схема расположения раннеживетских палеовулканических структур в Верхнеуральском рудном районе (в пределах Орловской площади):

1 – колчеданные месторождения (1 – Западно-Озёрное, 2 – Новое, 3 – им. XIX партсъезда, 4 – Талганское, 5 – Узельгинское, 6 – Чебачье, 7 – Молодёжное); 2 – крупные рудопоявления; 3 – крупные базальтовые щитовые вулканы (8 – Межозёрный, 9 – Гунинский, 10 – Чебачий, 11 – Речной, 12 – Орловский); 4 – оси базальтовых гряд; 5 – оси межгрядовых и поперечных депрессий; 6 – центры кислото вулканизма (экструзивные купола и куполовидные вулканы); 7 – контуры крупных базальтовых поднятий; 8 – контуры кальдерных депрессий на склонах базальтовых поднятий; 9 – Южно-Чебачье базальтовое плато; 10 – контур Барсучьего прогнозного участка

Fig. 2. Schematic map showing distribution of the Early Givetian paleovolcanic structures in the Verkhneural'sk ore region (within the Orlovsk area of work):

1 – VMS type deposits (1 – Zapadno-Ozernoye, 2 – Novoye, 3 – named after the XIX Party Congress, 4 – Talgan, 5 – Uzelginsky, 6 – Chebachye, 7 – Molodezhnoye); 2 – large ore occurrences; 3 – large basalt shield volcanoes (8 – Mezhozerny, 9 – Guninsky, 10 – Chebachy, 11 – Rechnoy, 12 – Orlovsky); 4 – axes of basalt ridges; 5 – axes of inter-ridge and transverse depressions; 6 – centers of silicic volcanism (extrusive domes and dome-shaped volcanoes); 7 – outlines of large basalt uplifts; 8 – outlines of caldera depressions on slopes of the basalt uplifts; 9 – South-Chebachye basalt plateau; 10 – outlines of the Barsuchiy forecasted site

склон более ранней Учалинской, что говорит об ограниченности в пространстве так называемых уровней локализации колчеданных руд [15, 20, 21]. Практически без перерыва вулканизм продолжался в позднем живете, когда сформировалась непрерывная базальт-андезит-дацит-риолитовая (улутауская) формация. В это время ещё действовали остаточные очаги кислых магм контрастной формации, а также функционировали аппараты центрального типа, сформировавшие поля ареального вулканизма с небольшими экструзивными куполами и куполовидными вулканами.

Рудоносные вулканы. Формирование всех без исключения промышленных колчеданных месторождений Верхнеуральского района генетически связано с контрастным

вулканизмом, то есть с формированием базальт-риолитовой формации, образования которой объединены в карамалыташскую свиту, имеющую раннеживетский возраст, что обосновано многочисленными находками фауны, в том числе конодонтовой [1, 10].

Карамалыташская свита по особенностям строения и состава подразделяется на две подсвиты: нижнюю (D_2kr_1), сложенную преимущественно базальтами с не выдержанными по латерали прослоями кислых вулканитов, и верхнюю (D_2kr_2), представленную главным образом кислыми вулканитами с редкими маломощными прослоями базальтоидов. По результатам структурно-фациального районирования Верхнеуральского рудного района выделено несколько типов разрезов свиты [5].



Для нижней подсвиты отчётливо различаются три типа разрезов. Первый характерен для крупных базальтовых поднятий, для которых типично резкое преобладание лав базальтов при ограниченном распространении туфов и отсутствии вулканогенно-осадочных пород. Второй тип распространён в пределах лавовых плато, разделяющих крупные базальтовые поднятия, и представлен чередованием лав и туфов базальтов, вулканогенно-осадочные разновидности пород также практически отсутствуют. Третий тип разрезов отвечает депрессиям между разновозрастными грядами базальтов и установлен в Ялшанской депрессии в северо-восточной части Верхнеуральского района. Он представлен чередованием туфов базальтов с туфогенно-осадочными породами, прослоями лав и туфов кислого состава, туфами смешанного и туфогенно-осадочными породами кислого составов. Вскрытая скважинами мощность отложений нижней подсвиты колеблется в пределах 1200–1500 м.

Для верхней подсвиты выделяются три основных типа разрезов. Первый тип установлен в депрессионных структурах на периферии крупных базальтовых поднятий. Его характерная черта – чётко выраженная ритмичность. Каждый ритм включает в себя лавовые и экструзивно-субвулканические фации кислых вулканитов и заканчивается вулканогенно-осадочными породами или игнимбритовидными туфами кислого состава. Выявляется до трёх ритмов кислого вулканизма, например, как в разрезе Узельгинской депрессии на западном склоне Межозёрного базальтового поднятия.

Второй тип разрезов выявлен на крупных базальтовых поднятиях (Межозёрное, Орловское). Этим разрезам свойственна сокращённая мощность (вплоть до полного выклинивания пород) и отсутствие крупных экструзивно-субвулканических тел. Состав и фациальные особенности вулканитов сопоставимы с таковыми для верхних частей разрезов в депрессиях, то есть поднятия перекрываются вулканитами кислого состава после заполнения ими депрессий.

Третий тип разрезов верхней подсвиты установлен между крупными базальтовыми поднятиями. Отложения верхней подсвиты пе-

рекрывают Южно-Чебачье лавовое плато, сложенное базальтоидами нижней подсвиты. Для этого типа характерно многократное чередование лав кислого и основного составов с подчинённым по объёму развитием туфов и вулканогенно-осадочных пород.

Мощность всей верхней подсвиты достигает 700 м. Наличие вулканогенно-осадочных пород с градационной слоистостью, находки радиолярий и ряд других фактов свидетельствуют о формировании описанных образований в подводных условиях. Значительное количество пирокластики в верхних частях разреза свиты говорит о формировании её на глубинах менее 1000 м.

Вулканиты карамалыташской свиты в пространстве ассоциируются с комагматическими и субвулканическими и экструзивными образованиями. Они представлены дайками диабазов, лакколитами, штоками и дайками андезитов, дацитов и риолитов, а также экструзивными и экструзивно-субвулканическими куполами андезитов, дацитов, риолитов и риодацитов. Крупные экструзивные купола кислого состава обычно приурочены к депрессионным структурам на периферии базальтовых поднятий.

Петролого-геохимические особенности колчеданоносных вулканитов, а также геодинамическая обстановка их формирования подробно рассмотрены нами ранее [18]. В результате их комплексного изучения установлено, что карамалыташская формация является полигенной. В ней выделяются две главные петрохимические серии: толеитовая островодужная и палингенная известково-щелочная. Предположительно выделяется третья, бонинитовая серия. Становление пород формации происходило в сложных геодинамических условиях при переходе от растяжения к сжатию. Именно такое своеобразное геодинамическое положение, а также формирование формации на «зрелом» симатическом фундаменте обусловили возникновение её петрофонда. Значительную роль в петрогенезисе играли нижние части гидратированной островодужной коры вблизи границы «кора – верхняя мантия». Генерация магм толеитовых островодужных базальтов в верхней части истощённой мантии

начала формировать формацию. Дальнейший их подъём к поверхности сопровождался явлениями кристаллизационной дифференциации и палингенеза в нижней части коры, то есть реализовывался механизм флюидного синтексиса [18]. Главный фактор эволюции расплавов – механизм кристаллизационной дифференциации при участии процессов контаминации, ассимиляции, гибридизма и флюидопереноса, которые, однако, играли незначительную роль в петрогенезисе.

Закономерности размещения колчеданных месторождений. Региональные закономерности для Южного Урала рассмотрены в работах целого ряда исследователей [3, 4, 7, 9–11, 15]. Ниже приводится характеристика основных закономерностей размещения колчеданного оруденения в пределах Верхнеуральского рудного района – наиболее изученного структурного элемента Учалино-Александринской зоны.

На основе анализа металлогенической информации нами выделены геологические объекты, определяющие размещение колчеданных месторождений и проявлений, т. е. металлогенические факторы, которые подразделяются на два рода [19].

К металлогеническим факторам первого рода отнесены реально существующие геологические объекты, влияющие на размещение и локализацию колчеданного оруденения. Они установлены непосредственными наблюдениями. К ним относятся стратиграфический, магматический, литологический и тектонический факторы.

Стратиграфический фактор играет важнейшую рудоконтролирующую роль. Все колчеданные месторождения локализованы среди пород карамалыташского вулканогенного комплекса. Максимум колчеданного оруденения приурочен к породам верхней подсвиты карамалыташской свиты и прямо связан с временным максимумом проявления кислого вулканизма в конце раннего живета. Отмечается хорошо выраженная зависимость состава колчеданных руд от положения их в стратиграфическом разрезе, заключающаяся в росте «полиметалличности» руд вверх по разрезу.

Магматический фактор тесно связан со стратиграфическим и обусловлен генетической связью колчеданного оруденения с кислыми магматическими породами. В Верхнеуральском рудном районе выявлены три стратиграфических уровня, на которых распространены колчеданоносные вулканиты кислого состава и комагматичные им субвулканические интрузии и экстррузивные купола: в нижней подсвите карамалыташской свиты, в верхней подсвите этой же свиты и в перекрывающей её улутауской свите. Соответственно, в пределах Верхнеуральского района выделяются три региональных рудоконтролирующих уровня (снизу вверх): курпалинско-ялшанский, межозёрный и южно-чебачьий. В северной части Учалино-Александринской зоны в Учалинском рудном районе выделен ранее самый нижний, учалинский, рудоконтролирующий уровень. Вулканиты кислого состава, к которым приурочен курпалинско-ялшанский уровень, выявлены в северо-восточной части Верхнеуральского района. К межозёрному рудоконтролирующему уровню относятся все известные в районе медно-цинково-колчеданные месторождения и 90 % всех известных проявлений колчеданных руд. На южно-чебачьем рудоконтролирующем уровне расположены рудные тела проявлений: Южно-Чебачье, Каменная Гора, Ржавцы, отдельные рудные тела месторождения Западно-Озёрное и другие.

Литологический фактор определяет наличие рудоконтролирующих подуровней, на которых локализуются массивные руды. Такие подуровни приурочены обычно к горизонтам туфогенно-осадочных и вулканогенно-осадочных пород, фиксирующих перерывы между отдельными ритмами кислого вулканизма. Среди туфогенно-осадочных пород отмечаются туфоконгломераты, туфогравелиты, туфопесчаники, иногда игнимбритовидные туфы с прослоями туфопесчаников, туфы кислого или смешанного состава, тефроиды. В непосредственной близости (200–500 м) от рудных тел литологический состав рудолокализирующих туфогенно-осадочных и вулканогенно-осадочных пород достаточно сложный. В них отмечаются обломки околорудных метасоматитов, син-



рудных хлоритолитов, яшмовидных кремнистых, кварц-гематитовых и хлорит-гематитовых пород, обломки руд (рудокласты). Иногда количество рудокластов может быть значительным и достигать 50–70 % объёма пород, например, в рудных песчаниках месторождения Западно-Озёрное, которые более чем наполовину представлены сортированными и окатанными мелкими рудокластами, на Южно-Александровском проявлении и других. Часто около месторождений в составе туфоконгломератов отмечаются обломки плагиогранитов и трондьемитоподобных гранодиоритов.

Тектонический фактор определяет распространение проницаемых зон, в которых развиты окolorудные метасоматиты. Эти зоны наследуют долгоживущие глубинные разломы и являются «рудоподводящими» каналами, контролирующими размещение колчеданных месторождений и проявлений. Зоны окolorудных метасоматитов линейно вытянуты в субмеридиональном и северо-западном направлениях и являются центральными зонами региональной метасоматической зональности, описанной нами ранее [17]. Среди разрывных нарушений выделяются разломы, сопровождающиеся ореолами метасоматически изменённых пород и благоприятные для локализации прожилково-вкрапленного оруденения. Такие разломы нередко контролируют размещение цинково-колчеданных и колчеданно-полиметаллических проявлений.

К металлогеническим факторам второго рода отнесены факторы, установленные при анализе истории геологического развития региона и современной геологической обстановки в процессе палеотектонических и палеовулканических реконструкций. К ним относятся геотектонический и палеовулканический факторы.

Геотектонический фактор заключается в приуроченности временного максимума колчеданного оруденения (верхняя подсвита карамалыташской свиты) к переходной обстановке (смена растяжения на сжатие) на ранней стадии формирования островной дуги.

Палеовулканический фактор заключается в связи колчеданного оруденения с вулканическими постройками. Геологическая струк-

тура Верхнеуральского рудного района определяется грядами базальтовых вулканов, которые, в свою очередь, определяют основные направления магмо- и «рудоподводящих» каналов. В Верхнеуральском районе выделяются две гряды: Ялшанско-Курпалинская и более поздняя по времени формирования Верхнеуральская. Последняя состоит из двух разновозрастных ветвей: восточной Межозёрной и западной Орловско-Речной. Оси гряд фиксируют древние магмовыводящие разломы этапа растяжения. Простираение гряд северо-западное и субмеридиональное. На осях гряд располагаются центры базальтовых щитовых вулканов и шлаковых конусов, склоны и вершины которых благоприятны для развития продуктивных на колчеданное оруденение вулканических кислого состава.

В Верхнеуральском рудном районе известны три крупных базальтовых поднятия: Межозёрное, Речное и Орловское (см. рис. 2). Вулканические кислого состава, продуктивные на колчеданное оруденение, выполняют крупные межгрядовые и поперечные депрессии. На периферии Межозёрного базальтового поднятия выявлены депрессии кальдерного типа, внутри которых широко распространены туфогенно-осадочные породы, благоприятные для локализации колчеданного оруденения. Внутри таких депрессий расположены месторождения Новое, Узельгинское, Чебачье и Молодёжное, а также целый ряд проявлений.

Все месторождения и крупные проявления колчеданных руд в Верхнеуральском рудном районе обнаруживают пространственную связь с вулканическими постройками, сложными продуктивными на колчеданное оруденение вулканическими кислого состава, образующими купола, куполовидные вулканы, некки. Массивные руды обычно располагаются либо под экструзивными куполами, либо на их периферии (рис. 3), реже над ними. На Узельгинском месторождении известны два экструзивных купола, перекрывающих соответственно нижний и верхний рудоконтролирующие подуровни, причём верхний экструзивный купол (Александровский) прорывает нижний (Узельгинский). Необходимо отметить, что чаще всего куполовидные вулканы и экструзивные ку-

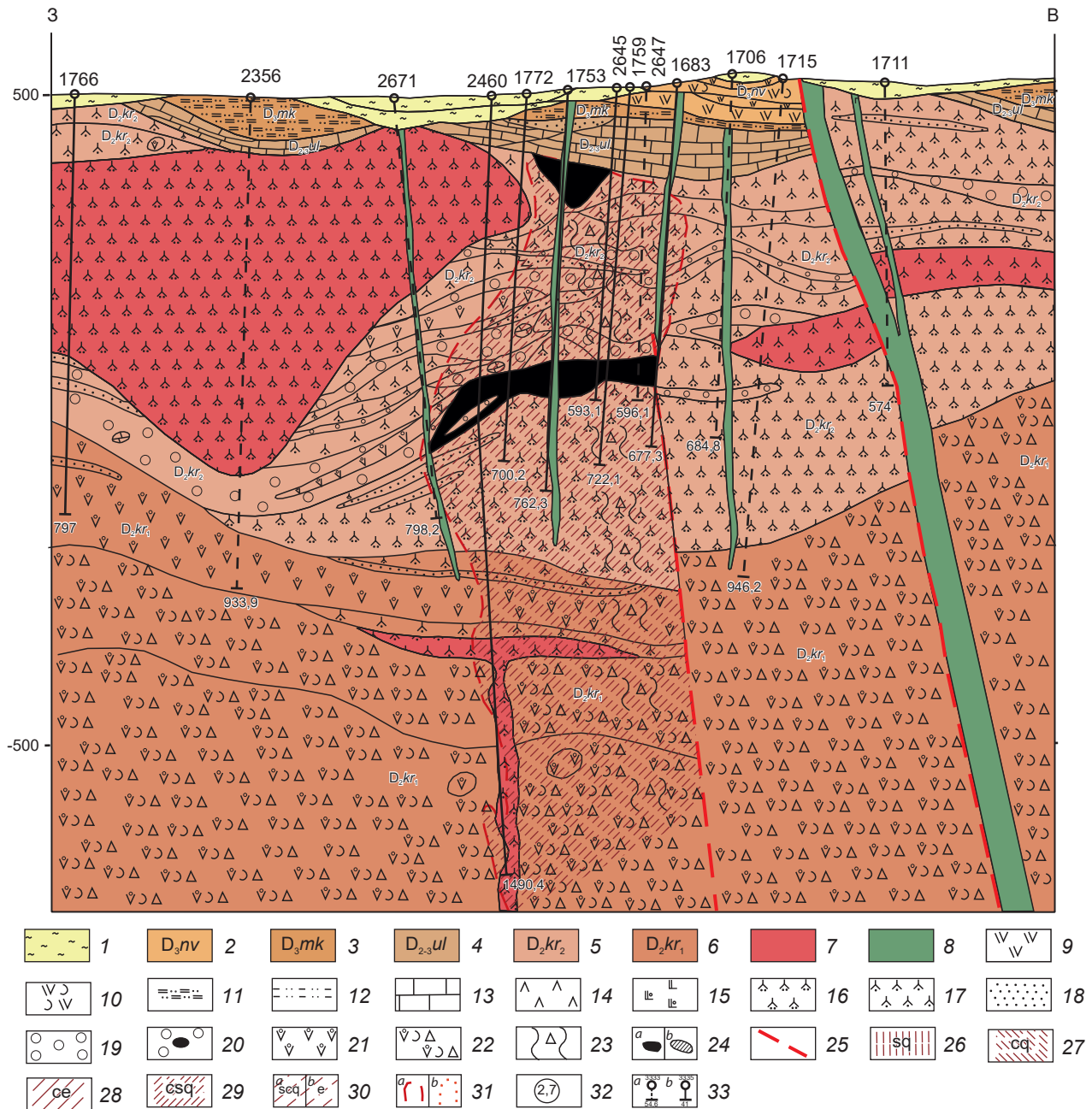


Рис. 3. Схематический широтный геологический разрез Узельгинского месторождения масштаба 1 : 10 000:

1 – рыхлые отложения; 2 – нововоронинская толща (D₃nv); 3 – мукасовская толща (D₃mk); 4 – улутауская свита (D₂₋₃ul); карамалыташская свита: 5 – верхняя подсвита (D₂kr₂), 6 – нижняя подсвита (D₂kr₁); 7 – кислые экструзивные купола и субвулканические интрузии; 8 – дайки и силлы раннекаменноугольных габбродиабазов и габбродиоритов; 9 – базальты порфиоровые; 10 – туфы порфиоровых базальтов; 11 – кремнистые сланцы; 12 – туфопесчаники; 13 – известняки; 14 – лавы андезибазальтов и андезитов; 15 – миндалекаменные мелкопорфиоровые пироксен-плагиоклазовые базальты; 16 – крупнокварцевые риолиты; 17 – лавы и туфы кварцевых дацитов, риодацитов и риолитов; 18 – туфопесчаники и туфоалевролиты; 19 – туфоконгломераты и туфогравелиты; 20 – туфоконгломераты с обломками руд (рудокластами); 21 – базальты миндалекаменные; 22 – туфы базальтов; 23 – зоны рассланцевания и дробления, «рудопроводящие» каналы; 24 – массивные колчеданные руды (a – разведанные и обрабатываемые, b – прогнозируемые); 25 – тектонические нарушения; 26 – зоны серицитизации и окварцевания; 27 – зоны хлоритизации и окварцевания; 28 – зоны хлоритизации и эпидотизации (пропилитизации); 29 – около-



рудные хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты; 30 – зоны частично-изменённых пород (*a* – хлоритизированных, серицитизированных и окварцованных, *b* – эпидотизированных); 31 – контуры «рудоподводящих» каналов (*a* – установленные, *b* – предполагаемые); 32 – значения измеренных плотностей пород, г/см³; 33 – номера и глубины буровых скважин (*a* – проекции на плоскость разреза при удалении более чем на 200 м, *b* – скважины в плоскости разреза)

Fig. 3. Schematic latitudinal geological section of the Uzelginskoye deposit. Scale 1: 10 000:

1 – loose sediments; 2 – Novovoronskaya sequence (D_3nv); 3 – Mukasovskaya sequence (D_3mk); 4 – Ulutau formation (D_{2-3ul}); Karamalytash formation: 5 – upper sub-formation (D_2kr_2), 6 – lower sub-formation (D_2kr_1); 7 – felsic extrusive domes and subvolcanic intrusions; 8 – dikes and sills of Early Carboniferous gabbrodiabases and gabbrodiorites; 9 – porphyritic basalts; 10 – tuffs of porphyritic basalts; 11 – cherty shales; 12 – tuffaceous sandstones; 13 – limestones; 14 – lavas of andesibasalts and andesites; 15 – amygdaloidal fine-porphyritic pyroxene-plagioclase basalts; 16 – coarse-quartz rhyolites; 17 – lavas and tuffs of quartz dacites, rhyodacites, and rhyolites; 18 – tuffaceous sandstones and siltstones; 19 – tuffaceous conglomerates and gravelstones; 20 – tuffaceous conglomerates with ore fragments (ore clasts); 21 – amygdaloidal basalts; 22 – basalt tuffs; 23 – zones of schistosity and crushing, “ore-feeder” channels; 24 – volcanogenic massive sulfide ores (*a* – explored and being extracted, *b* – forecasted); 25 – faults; 26 – zones of sericitization and silicification; 27 – zones of chloritization and silicification; 28 – zones of chloritization and epidotization (propylitization); 29 – near-ore chlorite-sericite-quartz metasomatites; 30 – zones of partially altered rocks (*a* – chloritized, sericitized, silicified, *b* – epidotized); 31 – contours of “ore-feeder” channels (*a* – established, *b* – assumed); 32 – measured rock density values, g/cm³; 33 – numbers and depths of boreholes (*a* – projections on the section planes at a distance of more than 200 m, *b* – boreholes within the section plane)

пола образованы крупнопорфировыми породами кислого состава, в связи с чем большое количество и крупный размер вкрапленников могут косвенно указывать на вероятную продуктивность вулканитов кислого состава. Колчеданные руды обычно ассоциируют с предельно кислыми по составу породами – риолитами и риодацитами, но иногда могут встречаться в связи с дацитами, андезидацитами и даже андезитами (например, рудные тела верхнего этажа Западно-Озёрного месторождения).

Выявленные структурные элементы Верхнеуральского рудного района в первом приближении соответствуют его металлогеническому районированию. Так, Межозёрное базальтовое поднятие вместе с находящимися на его периферии кальдерообразными депрессиями, включающими перечисленные выше месторождения, по своим границам практически совпадает с Межозёрным рудным узлом. Озёрное рудное поле объединяет одноимённую депрессию и южную часть Межозёрной базальтовой гряды. Молодёжная депрессия почти совпадает с Молодёжным рудным полем. Узельгинское рудное поле включает в себя Узельгинскую палеодепрессию и сводовую часть Межозёрного базальтового поднятия. Южно-Молодёжное рудное поле почти совпадает с центральной частью Чебачьей межгрядовой депрессии. Орловское поле совпадает

с Орловской депрессией на склоне Орловского базальтового поднятия, а Западно-Чебачье рудное поле находится на западном склоне Речного базальтового поднятия. Описанная зависимость, на наш взгляд, является наглядным подтверждением первостепенной значимости палеовулканических структур как рудофокусирующего фактора [19].

Генетическая модель. Попытки создать универсальную генетическую модель колчеданного месторождения уральского типа неоднократно предпринимались уральскими геологами [2, 13, 14, 22]. На основании анализа главных факторов и параметров образования месторождений Верхнеуральского района и синтеза всех имеющихся данных мы сделали вывод о реализации комбинированной конвективно-постмагматической модели формирования колчеданных руд (рис. 4). Её суть в том, что в процессе рудообразования одновременно участвуют два сопряжённых механизма: конвективная приповерхностная ячейка рециркуляции морских вод и находящийся в центре её на небольшой глубине активно действующий и продуцирующий гидротермальные растворы периферический магматический очаг.

По нашему мнению, предлагаемая модель учитывает генетическую связь колчеданного рудообразования с кислым магматизмом базальт-риолитовой (контрастной) формации,

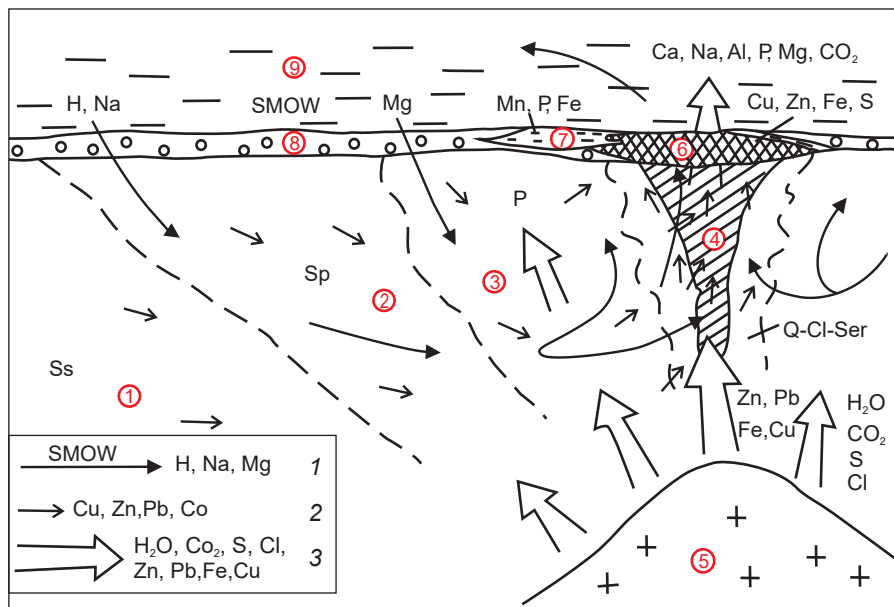


Рис. 4. Конвективно-постмагматическая модель колчеданного рудообразования (принципиальная схема):

1 – направления рециркуляции морской воды; 2 – направления миграции халькофильных элементов; 3 – направления движения постмагматических рудообразующих гидротермальных растворов, выделившихся при дегазации приповерхностного очага кислых магм. Цифрами в кружках обозначены: метасоматические зоны: 1 – слабоизменённых пород (сосюритовая, Ss), 2 – выноса кальция (спилитизации, Sp), 3 – пропилитов (P), 4 – околорудных кварц-хлорит-серицитовых метасоматитов (Q-Cl-Ser); 5 – приповерхностный очаг кислых магм; 6 – массивные колчеданные руды; 7 – марганцево-железистые осадки; 8 – вулканогенно-осадочные и туфогенно-осадочные породы; 9 – морская вода (SMOW)

Fig. 4. Convective-postmagmatic model of the VMS ore formation (schematic diagram):

1 – directions of the seawater recirculation; 2 – directions of the chalcophile elements migration; 3 – directions of the movement of ore-forming postmagmatic hydrothermal solutions released during degassing of a near-surface silicic magmatic chamber. The numbers in the circles indicate: metasomatic zones: 1 – slightly altered rocks (saussurite, Ss), 2 – calcium removal (spilitization, Sp), 3 – propylites (P), 4 – near-ore quartz-chlorite-sericite metasomatites (Q-Cl-Ser); 5 – near-surface silicic magmatic chamber; 6 – massive sulfide ores; 7 – manganese-ferrous sediments; 8 – volcanosedimentary and tuffaceous sedimentary rocks; 9 – seawater (SMOW)

причём выделяются четыре вида такой связи: пространственная, временная, энергетическая и вещественная [17]. Пространственная связь заключается в приуроченности колчеданных залежей к центрам кислого вулканизма. Временная связь выражается в локализации колчеданных руд в виде пластовых тел на определённых рудоконтролирующих подуровнях среди туфогенно-осадочных пород, фиксирующих перерывы между ритмами кислого вулканизма. Пульсационная активность очагов кислых магм определяет и строение «рудоподводящих» каналов, представленных кварц-серицитовыми метасоматитами. Энергетическая связь определяется наличием приповерх-

ностных очагов кислых магм как главного условия существования конвективной гидротермальной системы. Вещественная связь выражается в том, что приповерхностные очаги кислых магм являлись источниками рудообразующих растворов. Эти растворы содержали в большом количестве сероводород, галогены и углекислый газ, именно их проникновение в верхние горизонты коры стало тем стартовым механизмом, который обусловил возникновение и длительное функционирование гидротермальной системы, причём горячие постмагматические флюиды значительно усиливали конвекцию. Очевидно, очаги кислых магм являлись также источниками металлов – глав-



ным образом, цинка и свинца, а также, возможно, частично меди и железа, что подтверждается расчётами баланса вещества в конвективной палеосистеме Верхнеуральского района [17]. Данная модель позднее была существенно конкретизирована И. Б. Серавкиным в части морфогенеза самих рудных залежей [16].

Поисковые признаки. Ниже перечислены поисковые признаки колчеданного оруденения уральского типа, сформулированные на основании изучения закономерностей размещения колчеданных руд в Верхнеуральском рудном районе и логически вытекающие из генетической модели колчеданного рудообразования, кратко охарактеризованной выше. Поисковые признаки сформулированы отдельно для различных прогнозно-металлогенических категорий, каковыми для колчеданоносных структурно-формационных зон являются рудные районы, рудные узлы, рудные поля и месторождения. Фактический материал позволяет разделить поисковые признаки на геологические, геохимические и геофизические. Автором учтены разработки и рекомендации Р. З. Абдулина, А. А. Архангельского, Э. Н. Баранова, Н. И. Кузнецовой, Л. И. Шох, А. Д. Штейнберга, в разные годы изучавших геофизические и геохимические поля в Верхнеуральском районе, а также специалистов ЦНИГРИ, создавших геолого-поисковые модели для колчеданных месторождений Урала [6–9].

Как известно, важнейшим признаком для выделения колчеданоносных структурно-формационных зон является наличие в них продуктивных на колчеданное оруденение контрастной базальт-риолитовой или непрерывной базальт-андезит-дацит-риолитовой вулканогенных формаций со специфическими петрологическими особенностями [4, 5, 15].

Для выделения внутри таких зон *рудных районов*, аналогичных Верхнеуральскому, поисковыми признаками являются:

А. Геологические:

- большой объём кислых разновидностей пород в составе продуктивных формаций;
- расчленённость палеорельефа продуктивных толщ: наличие базальтовых гряд и круп-

ных базальтовых поднятий, линейных межгрядовых и поперечных депрессий, выполненных вулканитами кислого состава, депрессий кальдерного типа и т. д.;

- наличие широких ореолов спилитизации, пропилитизации и зон околорудного метасоматоза;

- наличие проницаемых зон, фиксирующихся разрывными нарушениями и сопровождающихся дайковыми полями, ореолами метасоматически изменённых пород и прожилково-вкрапленным колчеданным оруденением;

- наличие месторождений, проявлений и многочисленных пунктов колчеданной минерализации;

Б. Геохимические:

- широкое «сквозное» распространение полиэлементных ореолов в разрезе рудовмещающих толщ;

- наличие ореолов выноса рудных элементов на удалённых фланговых и глубокозалегающих (подрудных) зонах;

В. Геофизические:

- наличие знакопеременного поля силы тяжести с локальными понижениями и повышениями;

- наличие широких отрицательных магнитных полей;

- наличие широких зон низких сопротивлений;

- наличие площадных аномалий вызванной поляризации.

При выделении крупных *рудных узлов*, аналогичных Межозёрному, поисковыми признаками являются:

А. Геологические:

- приуроченность к крупному неэродированному базальтовому поднятию;

- присутствие отчётливо выраженных депрессий кальдерного типа на склонах базальтового поднятия;

- наличие дуговых синвулканических разрывных нарушений, обрамляющих базальтовое поднятие и определяющих расположение депрессий;

- наличие хорошо выраженных центров базальтового и продуктивного кислого вулканизма;

- сложный фациальный состав рудоносных толщ: наличие жерловых, лавовых, пирокластических и других фаций, а также вулканогенно-осадочных и осадочных пород;

- протяжённые поля метасоматически изменённых пород, фиксирующих направления, совпадающие с простиранием базальтовых гряд;

- широкие поля гематитизации и пропицитизации на уровне современного эрозионного среза;

- насыщенность колчеданным оруденением: наличие одного или более месторождений, большое количество проявлений, в том числе массивных колчеданных руд и повсеместное распространение пунктов минерализации;

Б. Геохимические:

- сближенное расположение аномальных геохимических полей комплексного состава;

- зональное строение аномалий при «сквозном» распространении их в разрезе рудовмещающих толщ;

В. Геофизические:

- понижение остаточного поля силы тяжести;

- наличие широких отрицательных магнитных полей интенсивностью от 200 до 500 нТл;

- наличие низкоомных зон, выделенных по данным скважинной геофизики;

- большое количество площадных и линейно вытянутых аномалий вызванной поляризации.

Для *рудных полей* выделяются следующие поисковые признаки:

А. Геологические:

- наличие крупной депрессии кальдерного типа, расположенной на склоне базальтового поднятия и заполненной продуктивными вулканиками кислого состава (андезитами, дацитами, риодацитами, риолитами); продукты кислого вулканизма могут также частично перекрывать сводовые части базальтовых поднятий;

- наличие одного хорошо выраженного или нескольких сближенных центров кислого вулканизма;

- неоднородность разреза кислых толщ с широким развитием пирокластических, околожерловых, жерловых и интрузивных фаций;

- ритмичное строение толщ кислых вулканитов;

- наличие в пределах площади литолого-стратиграфических уровней, контролирующих на смежных либо аналогичных площадях размещение колчеданной минерализации;

- присутствие туфогенно-осадочных и вулканогенно-осадочных пород в разрезе, фиксирующих перерывы между ритмами кислого вулканизма и контролирующих рудо локализирующие подуровни;

- присутствие синвулканических положительных (вулканогенные поднятия, купола, палеовулканы центрального типа) и отрицательных (локальные депрессии, кальдерные провалы) структур;

- наличие палеовулканических разломов, контролирующих размещение вулканических фаций;

- порфировые структуры вулканитов кислого состава;

- сложный литологический состав вулканогенно-осадочных и туфогенно-осадочных пород, в которых отмечаются в большом количестве ксенообломки пропицитов, метасоматитов, плагиогранитов и гранодиоритов, хлоритолитов, кварц-гематитовых пород, рудокластов;

- широкое развитие полей околорудных метасоматитов и пропицитов;

- интенсивная гематитизация пород, перекрывающих продуктивные вулканики;

- наличие большого количества проявлений и пунктов минерализации, в том числе массивных колчеданных руд;

Б. Геохимические:

- сочетание ореолов проявлений и месторождений, образующих зональную (при наличии нескольких месторождений – многоцентровую) структуру аномального поля;

- сочетание в вертикальном разрезе комплексных аномалий зонального строения, согласных с залеганием рудоносных толщ, с секущими зонами тылового типа, фиксирующими «рудоподводящие» каналы;

В. Геофизические:

- локальное понижение общего поля силы тяжести на фоне общего повышения;



- отрицательное магнитное поле до -350 нТл;
- многочисленные аномалии вызванной поляризации;

- низкоомный геоэлектрический разрез;
- наличие аномалий электрокорреляции.

Для отдельных медно-цинково-колчеданных месторождений уральского типа рекомендуются следующие поисковые признаки:

А. Геологические:

- наличие достоверного рудоконтролирующего уровня на участке, иногда с несколькими подуровнями;

- наличие «рудоподводящего» канала, представленного линейно вытянутыми или пересекающимися зонами, «сквозного» по разрезу развития кварц-серицитовых метасоматитов;

- весьма сложный литологический состав рудоконтролирующих туфогенно-осадочных и вулканогенно-осадочных пород, присутствие в них плохо окатанных и угловатых обломков околорудных метасоматитов, гранитоидов, кварц-гематитовых пород, хлоритолитов и рудокластов различного состава;

- наличие близлежащего мощного центра кислого вулканизма (купол, куполовидный вулкан, вулкан центрального типа);

- интенсивная гематитизация пород, перекрывающих рудоносные толщи;

- проявления массивных колчеданных руд;

Б. Геохимические:

- приуроченность к центрам латеральной зональности геохимического аномального поля в пределах рудоконтролирующего уровня;

- наличие секущих аномалий тылового типа, фиксирующих «рудоподводящие» каналы;

- наличие геохимических ореолов комплексного состава промежуточного или фронтального типа, в которых обычно локализуются рудные тела;

В. Геофизические:

- локальное повышение поля силы тяжести до $0,5$ мГал в области метасоматически изменённых пород, обуславливающих общее понижение поля силы тяжести;

- отрицательное магнитное поле (ниже фона на 200 – 300 нТл) в области «сквозных» проявлений гидротермальных процессов, связанных с выносом железа из пород;

- аномальные поля вызванной поляризации высокой интенсивности;

- аномалии метода переходных процессов, слабозатухающие на больших рамках;

- низкоомный геоэлектрический разрез по данным электроразведки и скважинной геофизики;

- аномальные отклонения поляризуемости, электрокорреляции и метода заряда по данным скважинной геофизики.

Локальный прогноз. Следует заметить, что степень опоскованности территории Верхнеуральского рудного района глубокими скважинами (1000 м и более) весьма неравномерна. Анализ показывает её резкое уменьшение в направлении с севера на юг по меньшей мере в 10 раз. Если на площади Межозёрного рудного узла (где сосредоточены все известные на сегодня медно-цинково-колчеданные месторождения) она составляет в среднем 20 таких скважин на 1 км² площади, то в районе Орловского базальтового поднятия – не более двух скважин на 1 км². Это объясняется прежде всего господствовавшей в течение многих лет стратегией поисковых работ в указанном районе, то есть стремлением прирастить запасы известных месторождений за счёт разбуривания флангов.

Территориальный анализ наличия перечисленных выше поисковых признаков колчеданного оруденения с учётом степени опоскованности территории Верхнеуральского рудного района позволил нам выделить в его южной части перспективный участок, названный Барсучьим (по названию одноимённого рудопоявления, известного в его пределах) (см. рис. 2). На участке прогнозируется тело массивных медно-цинково-колчеданных руд. Контур прогнозируемого рудного тела показан на широтном детальном геолого-геофизическом разрезе (рис. 5). Геологические предпосылки для прогнозирования рудного тела следующие:

- геологическое строение участков Барсучий и Узельгинского месторождения аналогично (см. рис. 3 и 5);

- участок расположен на северном склоне Орловского базальтового поднятия в пределах Орловской дуговой палеодепрессии;

- наличие достоверного рудоконтролирующего подуровня, представленного туфами кислого состава, туфопесчаниками, туфоалевролитами преимущественно кислого состава верхней подсвиты карамалыташской свиты;

- наличие крупного экстррузивного купола, перекрывающего предполагаемую рудную залежь и представленного порфиоровыми дацитами и риодацитами;

- наличие мощного ореола околорудных гидротермально-изменённых пород (серицитизированных, хлоритизированных и окварцованных);

- наличие в юго-западной части участка хорошо выраженного «рудоподводящего» канала;

- наличие в пределах участка перспективных проявлений массивных медно-колчеданных и медно-цинково-колчеданных (проявление Барсучье и др.) руд, а также вкрапленных серно-колчеданных и цинково-колчеданных руд, а также целого ряда пунктов минерализации.

Участок Барсучий находится в пределах крупного аномального геохимического поля на уровне верхней подсвиты карамалыташской свиты с разрозненным и сплошным распределением аномалий в разрезе с промежуточным типом зональности. На уровне улутауской свиты на участке хорошо проявлено двух-трёх-элементное аномальное поле фронтального (надрудного) типа. В восточной части участка скважина 3307 (см. рис. 5) на глубине 995 м вскрыла комплексную аномалию (Cu, Zn, Ba) с содержанием Zn > 1 %. В западной части участка скважина 3302 на глубине 775–825 м в серицитизированных и окварцованных туфах и туфоалевролитах на рудоконтролирующем подуровне вскрыла комплексный ореол (Cu 0,2 %, Zn 0,3 %, Pb 0,1 %). Он располагается в единой зональной геохимической колонке (от тыловых до фронтальных ореолов). Остальные скважины не добурены до рудоконтролирующего уровня и или не вскрывают кислые вулканы карамалыташской свиты, или вскрывают разрозненные ореолы фронтального типа (надрудные) в дацит-риодацитовом куполе.

Участок Барсучий располагается в области значительного понижения силы тяжести до -4,5 мГал в северной его части и до -2 мГал – в южной. Гравитационное поле осложнено несколькими положительными локальными аномалиями с относительной интенсивностью 0,5 мГал. Над предполагаемым рудным телом выявлена остаточная аномалия силы тяжести интенсивностью 0,25 мГал (см. рис. 5). Магнитное поле в пределах участка спокойное, отрицательное, ниже фона на 100–150 нТл, что в целом характерно для гидротермально-изменённых пород. Поле вызванной поляризации слабоаномальное, с отдельными локальными повышениями до 2–2,5 %. Участок приурочен к широкой зоне низкоомных пород северо-восточного простираения. В ряде скважин, пробуренных за пределами характеризуемого участка, выявлены направленные в его сторону аномалии методом заряженного тела.

Для прямого подсчёта прогнозных ресурсов меди и цинка методом аналогии нами приняты следующие параметры:

- площадь прогнозируемого рудного тела 587,5 тыс. м²;

- средняя мощность 30 м (см. рис. 5);

- за возможный аналог принято Узельгинское месторождение со средними содержаниями в массивных рудах (в целом по месторождению) Cu – 1,38 %, Zn – 2,59 %;

- принятый коэффициент надёжности равен 0,5 и учитывает благоприятную геологическую обстановку и наличие поисковых признаков.

Вычисленные прогнозные ресурсы кат. P₂ составляют 480 тыс. т Cu и 910 тыс. т Zn. На участке Барсучий рекомендуется провести поисковые работы масштаба 1 : 10 000 в интервалах глубин 600–1100 м.

Заключение. Таким образом, перспективы обнаружения нового промышленного оруденения в Верхнеуральском рудном районе в настоящее время далеко не исчерпаны. Для обоснованного прогноза по всей территории района требуется постановка специальных тематических работ. По нашему мнению, в пре-

Список литературы

1. *Артюшкова О. В., Маслов В. А.* Палеонтологическое обоснование стратиграфического расчленения дофаменских вулканогенных комплексов Верхнеуральского и Магнитогорского районов. – Уфа : ИГ УНЦ РАН, 1998. – 156 с.
2. *Белгородский Е. А.* Ретроспективная модель рудно-магматической системы колчеданного месторождения // Геология и геофизика. – 1989. – № 9. – С. 87–93.
3. *Бородаевская М. Б., Горжевский Д. И., Кривцов А. И., Ручкин Г. В., Скрипченко Н. С., Твалчрелидзе Г. А., Яковлев Г. Ф.* Колчеданные месторождения мира. – М. : Недра, 1979. – 284 с.
4. *Бородаевская М. Б., Кривцов А. И., Ширай Е. П.* Основы структурно-формационного анализа колчеданоносных провинций. – М. : Недра, 1977. – 152 с.
5. *Бочкарёв В. В., Сурин Т. Н.* Вулканогенные формации и геодинамическое развитие Учалино-Александринской и Режевской зон Урала. – Екатеринбург : Наука, 1993. – 80 с.
6. *Волчков А. Г.* Геолого-поисковые модели медноцинково-колчеданных месторождений Урала // Руды и металлы. – 2014. – № 1. – С. 49–58.
7. *Волчков А. Г., Кривцов А. И.* Медноколчеданные месторождения // Методика крупномасштабного и локального прогноза месторождений цветных, благородных металлов и алмазов. – М. : ЦНИГРИ, 1989. – С. 105–126.
8. *Кривцов А. И., Бородаевская М. Б., Волчков А. Г., Минина О. В., Требухин В. С., Ширай Е. П., Баранов Э. Н.* Прогнозно-поисковые комплексы. Выпуск 1. Комплексование работ по прогнозу и поискам скрытых медноколчеданных месторождений. Методические рекомендации. – М. : ЦНИГРИ, 1983. – 54 с.
9. *Кривцов А. И., Волчков А. Г., Володин Р. Н., Донец А. И., Курбанов Н. К., Лихачёв А. П., Мигачёв И. Ф., Филатов Е. И.* Методика прогноза и поисков месторождений цветных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 1987. – 260 с.
10. *Мосейчук В. М., Яркова А. В., Михайлов И. Г., Кашина Л. В., Сурин Т. Н., Плохих Н. А., Цин Д. Ф.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXIV. Объяснительная записка. Комплект карт. – М. : ВСЕГЕИ, МФ, 2017. – 127 с.
11. *Прокин В. А., Серавкин И. Б., Виноградов А. М.* Геологические условия размещения и перспективы выявления крупных медноколчеданных месторождений на Урале // Литосфера. – 2011. – № 6. – С. 123–133.
12. *Прокин В. А., Рудницкий В. Ф., Богомол А. А.* Верхнеуральский рудный район // Медноколчеданные месторождения Урала: Геологические условия размещения. – Свердловск [Екатеринбург] : УНЦ АН СССР, 1985. – С. 199–205.
13. *Прокин В. А., Ярош П. Я., Рудницкий В. Ф.* Модель формирования месторождений Уральского типа // Генетические модели эндогенных рудных формаций. – Новосибирск : Наука, 1983. – Т. 2. – С. 102–108.
14. *Рудницкий В. Ф.* Квазиэлизионная модель формирования колчеданных месторождений уральского типа // Известия УГГГА. Серия Геология и геофизика. – 1998. – Вып. 8. – С. 78–83.
15. *Серавкин И. Б.* Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. – М. : Наука, 1986. – 268 с.
16. *Серавкин И. Б.* Модель колчеданного месторождения Уральского типа // Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината. – Уфа : Башкирское книжное издательство, 1994. – С. 301–314.
17. *Сурин Т. Н.* Метасоматоз и колчеданное рудообразование. Верхнеуральский рудный район. – Екатеринбург : Наука, 1993. – 104 с.
18. *Сурин Т. Н.* Петрология и геохимия вулканитов раннеживетской базальт-риолитовой колчеданосной формации (Южный Урал). – Уфа : УфНЦ РАН, 1993. – 45 с.
19. *Сурин Т. Н.* Факторы локализации колчеданного оруденения уральского типа // Вулканогенно-осадочное рудообразование. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1992. – С. 56–58.
20. *Требухин В. С., Ширай Е. П.* Реконструкция палеовулканических структур Учалинского и Верхнеуральского рудных районов // Руды и металлы. – 1994. – № 3–5. – С. 81–89.
21. *Шарфман В. С.* Палеовулканические реконструкции. – М. : Недра, 1989. – 215 с.
22. *Baranov E. N., Shteinberg A. D., Karpukhina V. S.* A genetic model and exploration criteria for buried massive sulphide deposits of the Verkhneural'sky area, southern Urals, USSR // Proceedings of 7th IAGOD Symposium. – Stuttgart, 1988. – P. 449–460.



References

1. Artyushkova O. V., Maslov V. A. Paleontologicheskoe obosnovanie stratigraficheskogo raschleneniya dofamenskikh vulkanogennykh kompleksov Verkhneural'skogo i Magnitogorskogo raionov [Paleontological substantiation of stratigraphic dismemberment of the Dofamensk volcanogenic complexes of the Verkhneural'sk and Magnitogorsk districts], Ufa, IG UNTs RAN Publ., 1998, 156 p.
2. Belgorodskii E. A. Retrospektivnaya model' rudnomagmatischei sistemy kolchedannogo mestorozhdeniya [A retrospective model of the ore-magmatic system of the pyrite deposit], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 1989, No 9, pp. 87–93. (In Russ.).
3. Borodaevskaya M. B., Gorzhevskii D. I., Krivtsov A. I., Ruchkin G. V., Skripchenko N. S., Tvalchrelidze G. A., Yakovlev G. F. Kolchedannye mestorozhdeniya mira [Pyrite deposits of the world], Moscow, Nedra Publ., 1979, 284 p.
4. Borodaevskaya M. B., Krivtsov A. I., Shirai E. P. Osnovy strukturno-formatsionnogo analiza kolchedanonsnykh provintsiy [Fundamentals of structural and formation analysis of pyrite-bearing provinces], Moscow, Nedra Publ., 1977, 152 p.
5. Bochkarev V. V., Surin T. N. Vulkanogennye formatsii i geodinamicheskoe razvitie Uchalino-Aleksandrinskoi i Rezhhevskoi zon Urala [Volcanogenic formations and geodynamic development of Uchalino-Alexandrinskaya and Rezhhevskaya zones of the Urals], Ekaterinburg, Nauka Publ., 1993, 80 p.
6. Volchkov A. G. Geologo-poiskovye modeli mednotsinkovo-kolchedannykh mestorozhdenii Urala [Geological exploration models of the Uralian Cu-Zn massive sulfides], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2014, No 1, pp. 49–58. (In Russ.).
7. Volchkov A. G., Krivtsov A. I. Mednokolchedannye mestorozhdeniya [Copper pyrites deposits], Metodika krupnomasshtabnogo i lokal'nogo prognoza mestorozhdenii tsvetnykh, blagorodnykh metallov i almazov [Methodology of large-scale and local forecasting of deposits of non-ferrous, precious metals and diamonds], Moscow, TsNIGRI Publ., 1989, pp. 105–126.
8. Krivtsov A. I., Borodaevskaya M. B., Volchkov A. G., Minina O. V., Trebukhin V. S., Shirai E. P., Baranov E. N. Prognozno-poiskovye komplekсы. Vypusk 1. Kompleksirovanie rabot po prognozu i poiskam skrytykh mednokolchedannykh mestorozhdenii. Metodicheskie rekomendatsii [Predictive search complexes. Issue 1. Integration of works on forecasting and searching for hidden copper-pyrite deposits. Methodological recommendations], Moscow, TsNIGRI Publ., 1983, 54 p.
9. Krivtsov A. I., Volchkov A. G., Volodin R. N., Donets A. I., Kurbanov N. K., Likhachev A. P., Migachev I. F., Filatov E. I. Metodika prognoza i poiskov mestorozhdenii tsvetnykh metallov [Methods of forecasting and prospecting for deposits of non-ferrous metals], Moscow, TsNIGRI Publ., 1987, 260 p.
10. Moseichuk V. M., Yarkova A. V., Mikhailov I. G., Kashina L. V., Surin T. N., Plokhikh N. A., Tsin D. F. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1 : 200 000. Seriya Yuzhno-Ural'skaya. List N-40-XXIV. Ob'yasnitel'naya zapiska. Komplekt kart [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200,000. The South Ural series. Sheet N-40-XXIV. Explanatory note. Set of maps], Moscow, VSEGEI Moscow branch Publ., 2017, 127 p.
11. Prokin V. A., Seravkin I. B., Vinogradov A. M. Geologicheskie usloviya razmeshcheniya i perspektivy vyyavleniya krupnykh mednokolchedannykh mestorozhdenii na Urale [Geological conditions of placement and prospects of identification of large copper-pyrite deposits in the Urals], *Litosfera* [Lithosphere], 2011, No 6, pp. 123–133. (In Russ.).
12. Prokin V. A., Rudnitskii V. F., Bogomol A. A. Verkhneural'skii rudnyi raion [Verkhneural'sky ore district], Mednokolchedannye mestorozhdeniya Urala: Geologicheskie usloviya razmeshcheniya [Copper pyrites deposits of the Urals: Geological conditions of placement], Ekaterinburg, UNTs AN SSSR Publ., 1985, pp.
13. Prokin V. A., Yarosh P. Ya., Rudnitskii V. F. Model' formirovaniya mestorozhdenii Ural'skogo tipa [Model of formation of deposits of the Ural type], Geneticheskie modeli endogennykh rudnykh formatsii [Genetic models of endogenous ore formations], Novosibirsk, Nauka Publ., 1983, V. 2, pp. 102–108.
14. Rudnitskii V. F. Kvazielizionnaya model' formirovaniya kolchedannykh mestorozhdenii ural'skogo tipa [Quasi-elision model of formation of pyrite deposits of the Ural type], *Izvestiya UGGGA. Seriya Geologiya i geofizika* [News of the USMGA. Series Geology and Geophysics], 1998, V. 8, pp. 78–83.
15. Seravkin I. B. Vulkanizm i kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala [Volcanism and pyrite deposits of the Southern Urals], Moscow, Nauka Publ., 1986, 268 p.

16. Seravkin I. B. Model' kolchedannogo mestorozhdeniya Ural'skogo tipa [Model of the pyrite deposit of the Ural type], Mineral'nye resursy Uchalinskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata [Mineral resources of the Uchalinsky mining and processing plant], Ufa, Bashkir book publishing house Publ., 1994, pp. 301–314.
17. Surin T. N. Metasomatoz i kolchedannoe rudoobrazovanie. Verkhneural'skii rudnyi raion [Metasomatism and pyrite ore formation. Verkhneural'sky ore district], Ekaterinburg, Nauka Publ., 1993, 104 p.
18. Surin T. N. Petrologiya i geokhimiya vulkanitov rannehivetskoj bazal't-riolitovoi kolchedanonosnoj formatsii (Yuzhnyi Ural) [Petrology and geochemistry of volcanites of the Early Civetian basalt-rhyolite pyrite-bearing formation (Southern Urals)], Ufa, UfNTs RAN Publ., 1993, 45 p.
19. Surin T. N. Faktory lokalizatsii kolchedannogo orudneniya ural'skogo tipa [Factors of localization of pyrite mineralization of the Ural type], Vulkanogenno-osadochnoe rudoobrazovanie [Volcanogenic-sedimentary ore formation], St. Petersburg, VSEGEI Publ., 1992, pp. 56–58.
20. Trebukhin V. S., Shirai E. P. Rekonstruktsiya paleovulkanicheskikh struktur Uchalinskogo i Verkhneural'skogo rudnykh raionov [Reconstruction of paleovolcanic structures of the Uchalinsky and Verkhneural'sky massiv-sulfide-bearing regions], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 1994, No 3–5, pp. 81–89. (In Russ.).
21. Sharfman V. S. Paleovulkanicheskie rekonstruktsii [Paleovolcanic reconstructions], Moscow, Nedra Publ., 1989, 215 p.
22. Baranov E. N., Shteinberg A. D., Karpukhina V. S. A genetic model and exploration criteria for buried massive sulphide deposits of the Verkhneural'sky area, southern Urals, USSR, *Proceedings of 7th IAGOD Symposium*, Stuttgart, 1988, pp. 449–460.

Сурин Тимофей Николаевич (Timofey_Surin@vsegei.ru)

кандидат геол.-минерал. наук, заведующий отделом

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского» (ВСЕГЕИ), г. Санкт-Петербург, Россия