

С.В. Воробьева**ПРИРОДНЫЕ ТИПЫ КОЛЧЕДАНЫХ РУД
И КРИТЕРИИ ДЛЯ ПРОГНОЗА И ПОИСКА
ПРОМЫШЛЕННЫХ РУД НА ПРИМЕРЕ УРАЛА**

Промышленные колчеданные месторождения – это особая группа сульфидных месторождений, сформировавшихся на основе залежей массивного серного колчедана, вовлеченного в процесс глыбовой складчатости и динамометаморфизма. Рудоконтролирующие структуры промышленных колчеданных месторождений Урала являются порождением деструкционного тектогенеза (тектоника выжимания) и образовались в ходе повторного горообразования при синхронной океанизации дна рифтогенной долины атлантического типа.

Ключевые слова: Урал, колчеданные руды, зеленокаменные сланцы, эволюция кристаллического фундамента, тектоника выжимания.

Согласно изданному в нашей стране в 1950-е годы «Геологическому словарю», специальный термин «колчеданные руды» был введен отечественными геологами с целью обозначения особой группы сульфидных руд, отличающихся особыми физическими свойствами, прежде всего, своей массивной текстурой и серовато-желтой, светло-желтой и желтой окраской, высокой твердостью и металлическим блеском. Главным рудообразующим минералом в этих рудах является пирит. Термин «колчеданные руды» не подразумевал вначале никакого генетического смысла; он происходит от названия греческой колонии в Малой Азии. Среди колчеданных руд (в первоначальном понимании этого термина) по устойчивым минеральным ассоциациям отечественными геологами намечены характерные природные типы, а именно:

I – колчеданные руды, представленные дисульфидами, моносульфидами и сульфосолями. Эти руды пространственно связаны с пропилитизированными древними вулканогенными породами, оказавшимися в ареалах эффузивно-субвулканической деятельности, возникших в связи с активизацией в

герцинский этап вулcano-плутонических центров, завершивших свою деятельность в рифее и активизированных в герцинский этап тектоно-магматической активизации;

II – колчеданные руды, содержащие в большом количестве пирротин и богатые халькопиритом при ничтожном содержании свинца и цинка. Это древние колчеданные руды. Они также пространственно связаны с докембрийскими структурами протоактивизации [9] и характерны для зон смятия; примером служат богатые пирротином руды в зоне горного хребта Урал-Тау, руды корневых частей колчеданных месторождений Башкирии;

III – колчеданные руды, представленные в основном халькопиритом и блеклой рудой, минералами кобальта и никеля с незначительными примесями сульфидов свинца, висмута и олова. Примером служат богатые медью и кобальтом с примесью никеля руды, известные в районе Пышминско-Ключевского колчеданно-полиметаллического рудного поля на Среднем Урале; такой тип руды встречается в зонах тектонических клиньев («пакетов литопластин»), зажатых в шовных линеаментных зонах;

IV – колчеданные руды, представленные сплошной массой монолитного серного колчедана с неравномерными концентрациями меди, свинца и цинка. Только эти руды и являются настоящими «колчеданными», в новом понимании отечественных геологов, и по своему генезису соответствуют английскому термину «массивные сульфидные месторождения». Значимые концентрации ценных металлов сопутствуют серному колчедану [2, 11] только в зонах развития андезитового и андезито-дацитового и риодацитового вулканизма [10]. Ценными являются руды с пирит-сфалеритовой, пирит-сфалерит-галенитовой минеральными ассоциациями. Значимые концентрации свинца и цинка сопутствуют гранитоидам диорит-гранодиорит-адамеллитовой ассоциации [1], которые образовались в ходе активизации деятельности андезитовых вулканов и обособились в ходе повторного орогенеза при океанизации земной коры Урала. Эрозионно-тектонические габбро-гранитоидные массивы с разным уровнем динамического вреза – показатель расслоения литосферы в районе Урала и индикатор коллизионной обстановки, характерной для зрелых островных дуг.

Коллизионная обстановка в районе Урала подтверждается материалами радиолокационной съемки и космическими снимками, полученными метеорологическими спутниками системы Метеор и американскими спутниками серии ESSA. На Урале намечаются локализованные «структуры протоактивизации», представленные массивами устойчивой суши вулканоплутонического происхождения (рифейды). Это архипелаги островов вулканоплутонического происхождения среди расширявшейся, начиная с карельского этапа, глубинной инкратонной зоны. Затем на основе этой зоны образовался ступенчатый

грабеноподобный фундамент [5], определивший вторжение гигантского глубинного «коро-мантийного астенолита», проникшего в расширенные зоны линеаментного типа, определявшие узкие линии андезитового вулканизма. В целом возникла структура Каменного Пояса, явившегося георазделом Европы и Азии. Центральный Урал составляют динамически вытесненные [2] рифейды – «огнедышащие горы» древнего мира. В XIX веке Урал и считался поясом древних рифейских гор и назывался Каменным поясом. Но русские первопроходцы, пришедшие сначала в башкирские степи, переняли красивое башкирское название «Урал» и стали так называть всю горную систему Урала. Холмистые поднятия и похожие на курганы низкогорные хребты – «уралиды» – это молодые горы (горы повторного орогенеза), синхронные по времени островодужной (коллизионной) обстановке. Согласно красивой башкирской легенде, Урал – это имя могучего богатыря, спящего в земле вечным сном. Его могучая сила подняла землю, и выросли низкогорные «уралиды» (сопоставимые с подводными горами, затопленными в океане). Слово «урал» созвучно тюркскому «арал», означаящему «возвышенная местность», «остров».

Причину геодинамического состояния земной коры Урала следует искать в исходной неоднородности кристаллического фундамента. Крупномасштабные вертикальные и горизонтальные перемещения обусловлены движениями в подкоревой области. Поэтому в профиле особо сейсмоактивных линеаментных зон, которые находятся под влиянием астеносферного слоя, и началось либо спрединговое расширение, вызванное познеорогенным вулканизмом, либо скупивание вблизи устойчивых массивов древней суши (доуралид).

Астеносферный слой представляется геофизиками как «вязкое состояние диспергированно-размягченного вещества, имеющего свойства аморфного размягченного тела». Известно, что предельно сжатые участки литосферы в коллизионных поясах маркируются зонами Беньофа, где происходит постепенное засасывание глубинного астеносферного слоя, который проникает в линейные зоны и поэтому начинается глубинный мантийный диапиризм и приближение к верхним гипсометрическим уровням ультраосновных и основных горных пород в виде протрузий. Образованию зон Беньофа способствуют крупные кратонные глыбы, которые создают коллизионную обстановку и являются непроницаемыми для магматических расплавов и не поддаются деформациям. Эти кратонные глыбы служили как бы тисками, выжимавшими в профиле древних рифтовых долин глубинные породы переработанных низов фундамента древней коры и мантии. Силы гравитационной тектоники начинают действовать в обстановке крайне неравномерного глубинного прогрева по причине разной

теплопроводности многослойной горно-породной среды, что неизбежно приводит к развитию конвекционных восходящих и нисходящих потоков. Вследствие крайне неравномерной теплопроводности пород и неравномерного глубинного прогрева. В коллизионной обстановке тектонического расслаивания литосферы происходят скользящие гравитационные глыбовые перемещения и пластическое нагнетание [27] сильно прогретых горно-породных масс переработанного фундамента. Возраст сложнодислоцированных пород, которые обнажились на разных уровнях динамического вреза глубинного расщепленного плутона на восточном склоне Урала, вторгшегося в верхнюю зону нарушенного в киммерийский этап фундамента и обнажившегося в виде гигантского аллохтона и ограниченного линиями зеленосланцево-глагофановых поясов [2], охватывает на Урале огромный интервал геологического времени. Динамически перемешанные по причине вытеснения глыбового фундамента под напором глубинного расщепленного плутона (астенолита) породы имеют возраст от 1 млрд лет до 285–290 млн лет.

Сосредоточенность существенно медно-колчеданных месторождений в контуре уральского «супермаксимума» – доказательство, что исходные серно-колчеданные залежи приурочены к древним деструктивным зонам. Массивный медистый серный колчедан (рисунок) на Урале сформировался в результате плотностной инверсии и динамического вытеснения раннегесинклинальных толщ в каледонский этап, а в герцинскую эпоху началось усложнение тектонических дислокаций.

Консолидация фундамента вызвана процессами гранитообразования, но поскольку гнейсо-мигматиты и гранитные массивы вытеснены к поверхности в зоне Восточно-Ураль-



Массивный медистый серный колчедан с блоковой отдельностью. Южный Урал

ского поднятия и в Зауралье, значит, герцинским этапом геологическая история развития Урала не завершилась. В обстановке консолидации неоднородного фундамента массивный серный колчедан был вовлечен в региональную складчатость и метаморфизм. Блоковая отдельность серного колчедана (рисунок) – признак глубинного прогресса и складчатости вытесняемого и не сминавшегося в складки серного колчедана.

Тесная связь массивного серного колчедана с зеленокаменными породами-тектонитами – прямое указание коллизионной обстановки киммерийского этапа тектогенеза, возникшей по причине кратонизации фундамента. Но предельное сжатие инкратонной долины неизбежно привело к вторжению глубинных протрузий [2, 3]. Изучение зеленокаменных пород Урала было предпринято А.Н. Заварицким в районе массива Рай-Из в Полярном Урале, а затем совместно с В.И. Гончаровой на колчеданных месторождениях Среднего Урала. В ходе этого изучения выяснилось, что зеленокаменные породы в районе массива Рай-Из – это древние докембрийские породы. В зеленокаменном поясе Среднего Урала их возраст древнее позднего силура и они имеют обломочное сложение. При детальном микроскопическом изучении дезинтегрированные и затем спрессованные в обстановке «островная дуга – глубоководный желоб» зеленокаменные породы воспринимаются геологами как «туфы», поскольку среди них встречались обломки андезитов, дацитов, андезито-дацитов, зерна дезинтегрированных полнокристаллических пород гранитоидного состава, обломки литифицированных осадочных пород. В зонах стресс-метаморфизма, свидетельствующих о геодинамической обстановке [22], зеленокаменные метабазальтовые породы находятся в

состоянии тектонических сланцев [2, 11]. В Японии дезинтегрированные по причине высокой сейсмоактивности глыбового фундамента зеленокаменные породы получили специальное название «зеленых туфов» [21], несмотря на то, что туфогенные обломки в них встречаются редко.

Эти зеленокаменные породы были образованы за счет перемытых обломков, накопившихся под ударами то наступающих, то отступающих морских волн, в обстановке длительной сейсмоактивности гравитационно неустойчивого грабеноподобного фундамента, испытывающего крупномасштабные перемещения. В ступенчатых зеленокаменных рвах, примером служит Большой Ров (по-японски, – Фосса Магна), подчиненный субширотной трансформной зоне, происходил динамический рост риолитовых куполов, свидетельствующих о дефиците плотности и реоморфическом течении разуплотняющегося вещества древних вулканических пород.

Экспериментальные опубликованные данные свидетельствуют, что образование некристаллического пирита сажистых руд типа Куроко [15,34] возможно при длительном влиянии потоков сухого сероводородного газа на краснокаменные передробленные базальтовые породы, богатые железом. Сажистые руды были получены экспериментальным путем в 1970-е годы в результате обработки нашатырным спиртом дезинтегрированных краснокаменных богатых железом базальтов. Опыты показали, что некристаллические, сажистые скопления пирита при обильном промывании циркулирующей водой превращаются в рыхлую массу тонкозернистого серного колчедана. Учитывая экспериментальные опыты, образование кристаллического сажистого пирита стало возможным с появлением вулкано-плутонов – огнедышащих гор (рифид),

оказывавших сильное термальное воздействие на древние базальтовые породы, испытывавшие краснокаменное изменение. В дальнейшем кристаллизация пирита стала возможна только в условиях геодинамической обстановки плотностной инверсии, в ходе развития андезитоидного вулканизма, благодаря которому и сформировались габбро-гранитоидные массивы эвгеосинклиналиной зоны восточного склона Урала.

А.Н. Заварицкий в 1930-е годы обратил внимание на сходство геологической обстановки медно-колчеданного месторождения Блявы, в Медногорском районе Оренбургской области, с обстановкой в районе японских месторождений Куроко (Куромоно). Японские месторождения Куроко (Куромоно) стали всемирно известными, благодаря опубликованию в конце 1920-х годов работы японского исследователя Камеки Киношита, переведенной и на русский. Наиболее изучен горнорудный район Косака [34], где гипсометрически ниже риолитовых куполов залежали эшелонированные залежи монолитного медистого колчедана в зеленокаменных породах [15, 27]. Сходство геологической обстановки объясняется тем, что японские острова Хонсю и Хоккайдо представлены байкалидами, и это участки устойчивой древней суши, создающей обстановку крайней напряженности, которая фиксируется возрождением линий андезитового вулканизма и активизацией древних вулканических центров, распознаваемых динамическим ростом риолитовых вулкано-куполов и газозрывным вулканизмом.

Перекрытые наступавшим и отступавшим морем зеленокаменные породы – свидетели напряженной сейсмоактивной обстановки. В Японии дезинтегрированные зеленокаменные породы получили специальное название «зеленых туфов» [21], хотя облом-

ки туфов в них встречаются редко. Эти своеобразные породы – показатели высокой сейсмоактивности кристаллического фундамента и крупномасштабных глыбовых перемещений и разрушения построек андезитового и андезито-дацитового вулканизма, контролируемого линеamentными сейсмоактивными зонами.

Грандиозные поднятия сводово-глыбовых сооружений возрожденных древних гор – байкалид, впечатляют в обрамлении рифтогенной впадины озера Байкал. Байкалиды составляют протяженный Становой горный хребет и сочетаются с рифтовыми впадинами. Эти поднятия обособились в силу тектоники выжимания, в компенсацию резкого дефицита плотности сводово-глыбовых поднятий по отношению к тяжелому фундаменту рифтогенных впадин байкальского типа. Байкалиды составляют обрамление Русской платформы, в зоне перехода к Уралу. Байкалиды составляют и Тиман. Значит, в рифее намечается переход к новому тектоническому режиму, который выразился образованием раздвиговых древних водных бассейнов африканского типа, бортами которых служили огнедышащие горы (рифейды). Расширение этих бассейнов достигалось вытеснением глубинных кристаллических пород гнейсогранулитового слоя, превращенных в процессе альбитизации в плагиограниты. Вытеснение более глубинных пород – базит-гипербазитов, происходило в профиле линеamentных швов. Тесная пространственная связь промышленных колчеданных месторождений с зеленокаменными поясами на щитах, офиолитовыми аллохтонами, грабеноподобными трогами, определявшими островодужную обстановку коллизий, убеждает, что обширная группа месторождений «колчеданного семейства» отражает многообразие геотектонической обстановки, а сле-

довательно, и длительность процесса формирования промышленно-ценных руд на основе залежей массивного серного колчедана.

Субпластовые и линзовидные залежи, сформированные за счет монолитного колчедана, называются в англоязычных странах «массивными сульфидными месторождениями» («massive sulfide deposits»). Английский термин имеет генетический смысл, поскольку подразумевает колчеданные залежи, имеющие четкие контактовые поверхности с вмещающими вулканогенно-осадочными породами [10]. Отождествление нашего термина колчеданные руды с английским специальным термином и породило в нашей стране дискуссии «колчеданной проблемы». Мало задумываясь над первоначальным значением термина «колчеданные руды», одни геологи месторождения колчеданного типа считали среднепалеозойскими, другие позднепалеозойскими, третьи – гидротермальными или гидротермально-метаморфогенными. Это на деле так и есть, поскольку монолитному колчедану действительно сопутствуют разнообразные генетические типы руд, в том числе и колчеданного типа. Разработанная в стенах Академии наук А.Н. Заварицким гипотеза о связи колчеданных месторождений с геосинклинальным режимом еще в 1950–1960-е годы встретила жесткую оппозицию со стороны практических геологов, прежде всего, геологов горнорудных предприятий и отраслевых геологических научно-исследовательских институтов. Практические геологи привыкли связывать благоприятную для рудолокализации обстановку с процессами тектоно-магматической активизации и литолого-структурными факторами, способствовавшими развитию постмагматического сульфидного оруденения, неизменно сопровождающему эшелонированные залежи монолитного серного колчедана.

Тяготеющие к Северным Мугоджарам, обогащенные медью колчеданные месторождения связаны с кальдерными депрессиями и несут черты геологической обстановки колчеданных месторождений кипрского типа. На Кипре промышленную ценность имеют только кластогенные колчеданные руды, накопившиеся в кальдерных впадинах, в момент извержения спилитов, указывающих на субмаринную обстановку. Аллохтонное обособление офиолитового массива Троодос способствовало появлению глыбового острова, где греческие поселенцы обнаружили большие скопления меди. Остров Кипр находится в профиле Урало-Оманского офиолитового пояса [3] и глыбовые поднятия в этом поясе – это результат тектоники нагнетания построек островодужного типа, созданных в профиле линейментных зон.

К району Северных Мугоджар тяготеет Орско-Домбаровский район в Восточном Оренбуржье. В этом районе ряд месторождений колчеданного типа находится в зонах обрамления гнейсо-гранитных массивов. На Летнем месторождении вытеснение метабаазальтовых и гнейсо-амфиболитовых пород, перемешанных с блоками массивного колчедана, – признак гравитационной неустойчивости неоднородного глыбового кристаллического фундамента и обстановки коллизий. На Летнем месторождении среди зеленокаменных пород встречаются спилиты – индикаторы геодинамической обстановки обрушения огромных вулканов центрального типа, связанных со зрелыми островными дугами. Длительные и сложные физико-механические деформации зеленокаменных сланцев указывают на поля сложных тектонических напряжений, способствовавших и тектоническим деформациям массивного колчедана и его динамическому вытеснению

не только в верхние, но и в нижние уровни гипсометрического разреза.

Индикаторами плотностной инверсии в зоне Урала, подобной переходным зонам от древних платформ к Тихому океану, служат породы «тихоокеанского штамма» – спилиты, диабазы, альбитофиры, представляющие собой переработанные под влиянием активизированных древних дорифейских вулканических центров породы метабазальтового ложа первичного геосинклинального прогиба. Эти породы тесно ассоциируют с вовлеченными в процесс глыбовой складчатости колчеданными залежами и прорывают их.

М.Б. Бородаевской и А.И. Кривцовым намечаются на Урале три колчеданоносных субпровинции [10] и три главных гипсометрических уровня залегания колчеданных залежей. Первый гипсометрический уровень соответствует депрессионным структурам и «палеоповерхности базальтических гряд», где залегают наиболее древние колчеданные руды с низкими концентрациями попутных цветных металлов. Второй уровень намечен на «границе базальтовой и андезитовой толши», третий – «на границе андезито-дацитовой и дацитовой толши». Такая обстановка соответствует времени обособления позднеорогенного сквозькорового вулкано-плутонического пояса. Концентрации меди, свинца и цинка в колчеданоносных районах Урала находятся в зависимости от глубины эрозионного среза переработанного в палеозое древнего фундамента и высоты динамического подъема протрузий глубинных полнокристаллических пород, составивших фундамент инкратонной зоны Урала, изначально лишенной гранитометаморфического слоя. По опубликованным данным свинцового метода абсолютный возраст свинца большинства уральских колчеданных место-

рождений послераннекарбонный, а возраст околорудных серицитов по данным калий – аргонного метода варьирует от протерозоя до перми. Следовательно, изменению в условиях открытых геотермальных систем подверглись уже тектонически перемешанные, «перетасованные», разновозрастные породы, оказавшиеся в коллизии обстановке в профиле линеаментных зон, определяющих положение промышленных месторождений колчеданного типа. Свинцовое оруденение связано с завершением вулкано-плутонической деятельности в конце палеозоя, а существенно медные месторождения, связанные с зоной «уральского супермаксимума» – это более молодые месторождения, характеризующиеся золотоносностью.

Коллизийная тектоническая обстановка на Урале доказывается ступенчатым строением кристаллического фундамента, неоднородного его состава, ползучестью зеленокаменной толши, пластическим течением серпентинитов, участвующих в глыбовой складчатости и оторванных от глубинных корней [3]. Зоны зеленокаменных пород не принадлежат определенному стратиграфическому горизонту [2] и имеют гипсометрически многоуровневое положение тектонических клиньев, фиксирующих древние деструктивные зоны. В обстановке крайне неравномерного глубинного прогрева и под влиянием направленного ориентирующего давления пассивных кратонных глыб при нарастающей лито- и гидростатической нагрузке зеленокаменные породы – тектониты перешли в состояние ползучести (крипа) [2].

В такой обстановке пластиновидные, участками обогащенные медью и цинком спрессованные колчеданные тела в зеленокаменном поясе Среднего Урала находятся в зонах стрессовых полей [36], порожденных

глобальными процессами крайних тектонических напряжений, особенно наглядных в районе Карабашской группы месторождений в Соймоновской межгорной долине, где в конце 1920–1930-е годы зафиксированы горные обвалы. Обвалы горных выработок были вызваны сдвижением глыб монолитного колчедана [26], по причине вскрытием зон стрессовых полей и нарушения гравитационного равновесия в зонах предельно сжатых горно-породных глыб, в том числе и глыб массивного плотного колчедана. Во времена английских концессий Дюпарк наблюдал в Соймоновской долине пластические формы богатых пирротином медных руд; подобные массы были воспроизведены в ходе опытов раздавливания колчеданных руд [7].

Протяженные пластиновидные колчеданные тела зеленокаменного пояса Среднего Урала сопоставимы с месторождениями типа «бесси», связанными с субокеаническими проливами (примером служат колчеданные залежи пролива Принс Вильямс на Аляске)

Опубликованные в конце 1940-х годов уральскими геологами фактические материалы детального картирования зеленокаменного пояса Среднего Урала, свидетельствуют о тесной связи колчеданных динамодислоцированных руд с древней зеленокаменной толщей доверхнелудловского возраста [13, 25]. Стратиграфически выше позднего лудлоу в зеленокаменном поясе Среднего Урала встречаются только дезинтегрированные и рекристаллизованные в условиях стресса, в ареалах эффузивно-субвулканической деятельности руды. Неметаморфизованные колчеданные залежи, сформировались на основе кластогенных обломков, подобно крупной колчеданной залежи Александринского месторождения [28].

Локализованные геотермальные придонные поля, подобные району Срединно-Атлантического хребта распознаются на Урале рудными холмами [6]. Это прямое свидетельство об океанизации инкратонной долины в эпигерцинский этап распада Урало-Сибирской платформы и образовании линейного пролива субокеанического типа, трассируемой габбро-перидотитами, составлявшими подводный хребет, на котором были насажены «базальтоидные гряды, которые протягиваются по всему восточному склону Урала».

Различия соотношений изотопов серы в пиритах разных колчеданных месторождений объясняются разнородностью исходных источников серы. Поэтому образование пирита на колчеданных месторождениях – это весьма длительный процесс и не все пиритсодержащие руды следует называть колчеданными. Отмечается интенсивная бактериальная редукция сульфатов, растворимых в воде, с образованием фрамбоидального пирита.

Индикатором постмагматического рудообразования, сопутствующего колчеданным эшелонированным залежам, является накопление метасоматического пирита путем замещения метасоматически прорабатываемых в условиях низкого термального градиента и в близповерхностной обводненной обстановке динамически вытесняемых древних вулканогенных пород. Но метасоматически образовавшийся пирит не дает таких масштабов, как обломочный серный колчедан, имеющий дырочную проводимость. В отличие от осадочного серного колчедана кристаллический пирит имеет электронную электропроводность. Электроны являются носителями магнетизма, определяемого электромагнитным полем Земли, которое создается гидродинамическими движениями во внешней части разуплотненного земного ядра.

Геомагнитное поле намагничивает минералы во время их образования. Во время формирования вулканогенно-осадочных серноколчеданных руд еще не существовало такого мощного геомагнитного поля, что доказывает древность тонкозернистого уплотненного серного колчедана.

Тонкозернистые массы серного колчедана сформировались за счет некристаллического пирита, который длительно промывался водными потоками и постепенно приобрел кристаллическую форму. При структурном травлении осадочный тонкозернистый пирит затравливается и превращается в гель-пирит.

Накоплению метасоматически сформировавшегося пирита продуктивных пирит-халькопирит сфалеритовой и пирит-сфалерит-галенитовой минеральных ассоциаций в метасоматически проработанных в ареалах субвулканической деятельности древних зеленокаменных вулканогенных породах способствовала высокая концентрация окисного железа, возникшего по причине вовлечения этих пород в зоны термально-контактового метаморфизма в континентальной обстановке, после консолидации кратонов и предельного сокращения геосинклинальных прогибов. Но следует учесть, что обменные реакции замещения были весьма затруднены, поскольку для их осуществления необходимы большие притоки водорода или углеводородных соединений, которые должны были переходить в ионизированное состояние в водной среде. Такая обстановка необходима для нейтрализации высвобождающегося кислорода, последний также должен был находиться в ионизированном состоянии. В малоглубинных и приповерхностных условиях восстановительная среда возникает за счет притока углеводородных соединений, а окислительной среде способствуют ионизирующие излуче-

ния в период вторжения палингенных гранитов.

А.Г. Бетехтин (1949, 1964) систематизировал экспериментальные работы и выяснил, что сульфидные руды могут формироваться за счет водных минерализованных растворов на умеренной глубине, в охваченных разрывными и складчатыми деформациями породах, проницаемых для циркуляции насыщенных анионами серы и сульфат-ионом, только в обстановке резкого колебания окислительно-восстановительного потенциала. При этом окислительная среда определяла интенсивность протекания химических реакций, вызванных изменениями валентности реагирующих ионов. Но для осуществления этих реакций было необходимо участие ионов водорода. Поэтому целый ряд ограничений указывает на затрудненность протекания подобных реакций и сами по себе водные растворы и ювенильные гидротермы, связанные с отмиранием глубинных очагов, были неспособны к образованию таких огромных по своим размерам эшелонированных залежей массивного серного колчедана. Циркулирующие водные растворы, по сути, только длительно переотлагали ранее накопленные в вытесняемых древних породах рудные концентрации. Поскольку тектонически деформированный монолитный колчедан пересекается рудными жилами и прожилками [2,3], образовавшимися при новом этапе тектонических деформаций, а поздние минеральные ассоциации сульфидов и жильных минералов цементируют брекчированные сульфидные руды или развиваются в виде кокардовых обрамлений вокруг брекчиевидных сплошных колчеданных руд.

Выводы

1. Промышленно-ценные месторождения колчеданного типа на Ура-

ле контролируются структурами деструкционного тектогенеза, выраженного явлениями нагнетания глубинных пород в профиле линеаментных зон (так называемая «ejective tectonics» – «тектоника выжимания»). Такая обстановка вызвана возрождением древних горных поднятий байкальского типа при синхронном процессе океанизации дна древней рифтовой долины.

2. Изучение закономерностей формирования уральских колчеданных месторождений во взаимосвязи с особенностями геотектонического строения Урала и историей его геологического развития [2–5] помогают понять главную причину ограниченного распространения на Земле колчеданосных провинций. Поскольку для формирования промышленных колчеданных залежей необходима геодинамическая обстановка.

3. Массы обломочного колчедана, имеющего дырочную электропроводность, явились благоприятной средой для осаждения меди, свинца и цинка. Дезинтеграция серного колчедана происходит в профиле линеаментных зон, находящихся под влиянием астеносферного сдвига.

4. Формирование месторождений на основе залежей серного колчедана началось в период мощной тектономагматической активизации и поэтому герцинский этап явился решающим

[3, 4, 10] для развития промышленно-ценного сульфидного оруденения магматогенного и постмагматического типа, сопутствующего эшелонированным залежам серного колчедана. Кластогенные руды сформировались позднее, в ходе крупномасштабных глыбовых перемещений.

5. На Урале прогноз и поиск промышленно-ценной руды затруднен в связи с многообразием типовых обстановок. Поэтому важны эмпирические знания типовых обстановок и перспективных рудолокализирующих структур. Перспективными районами являются районы очагового типа, подобно Подольской структуре, выявленной на основе космоснимков [12].

6. Наиболее перспективным районом в отношении сопутствующего колчеданным рудам золотополиметаллического оруденения, наложенного на интенсивно дислоцированные серноколчеданные руды [32], является зона сочленения окраины Русской платформы и Южного Урала, где отмечается рост купольных поднятий.

7. Богатые медью колчеданные руды тяготеют к зонам крупных кальдерных впадин, расширившихся в результате мощных газовых взрывов. Образование обширных кальдерных депрессий в зоне Главного Уральского вулканического пояса указывает на максимальное углубление вулканических очагов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амирасланов А.А. Минералогическая характеристика колчеданных месторождений Урала и вторичные процессы в них. – М.: ОНТИ, 1937.

2. Воробьева С.В. Закономерности развития регионального динамометаморфизма и геологическая позиция залежей комплексных сульфидных руд на Урале // Отечественная геология. – 2005. – № 1. – С. 19–23.

3. Воробьева С.В. Особенности геологического строения Урала и геологическая позиция золотых сульфидно-кварцевых и золотосодержащих колчеданных месторождений

на его восточном склоне // Отечественная геология. – 2009. – № 3. – С. 14–21.

4. Воробьева С.В. Типовая геологическая обстановка локализации промышленных колчеданных месторождений (на примере Урала и Рудного Алтая) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 8. – С. 116–122.

5. Воробьева С.В. Формирование тектонической структуры и металлогенический профиль Урала // Вестник Тамбовского университета имени Г.Р. Державина. Серия: Естественные и технические науки. – 2009. – Том 14. Вып. 3. – С. 628–631.

6. Зайков В.В., Масленников В.В. Признаки придонных гидротермальных холмов в палеозойских структурах Урала / Придонные гидротермальные постройки колчеданноносных районов. – Свердловск: УрО АН СССР, 1988. – С. 94–96.
7. Иванов С.Н. Опыты получения некоторых форм колчеданных месторождений путем пластического раздавливания пластических масс // Известия АН СССР. Серия геологическая. – 1941. – № 2.
8. Иванов С.Н., Прокин В.А., Долматов Г.К. Основные черты строения и происхождения рудоносных брахиантиклиналей в вулканогенных толщах Урала / Труды I Уральского петрографического совещания. Т. II. – Свердловск, 1963.
9. Казанский В.И. Эволюция рудоносных структур докембрия: архейские кратоны и области протокристаллизации / Рудоносные структуры докембрия. – М.: Наука, 1982. – С. 2–69.
10. Колчеданные месторождения мира / Под ред. В.И. Смирнова. – М.: Наука, 1979.
11. Колчеданные месторождения Урала. – М.: Изд. АН СССР, 1950.
12. Косарев А.М. Подольско-Сукратовская тектоническая зона / Геология и полезные ископаемые Южного Урала. – Уфа: Изд. Башкирского филиала АН СССР, 1975.
13. Логинов В.П. Метаморфизованные колчеданные гальки в верхнесилурийских конгломератах Левихи (Средний Урал) // Известия Академии наук СССР. Серия геологическая. – 1956. – № 6.
14. Воробьев В.И., Контарь Е.С., Прокин В.А., Яковлев Г.Ф. Медные месторождения прожилково-вкрапленного типа на Урале // Геология рудных месторождений. – 1978. – № 1. – С. 30–39.
15. Митчелл А., Гарсон М. Глобальная тектоническая позиция минеральных месторождений. – М.: Мир, 1984.
16. Нестоянова О.А. Разломы Магнитогорского мегасинклинория и связь с ними колчеданных месторождений Южного Урала / Материалы по геологии Урала. Труды ВСЕГЕИ. Новая серия. Т. 109. – 1964.
17. Остапенко Г.Т. Рекристаллизация минералов в условиях стресса // Геохимия. – 1968. – № 2. – С. 234–237.
18. Перижняк Н.А. Палеовулканизм и формирование блоковой структуры Сибайского медноколчеданного месторождения (Южный Урал) / Труды ЦНИГРИ. – 1971. Вып. 99.
19. Петрушевский Б.А. Урало-Сибирская эпигерцинская платформа и Тянь-Шань. – М.: Изд. АН СССР, 1955.
20. Рокачев С.А. Пластовые залежи колчеданных руд Сибайского месторождения / II Уральское петрографическое совещание. Тезисы докладов. – Свердловск, 1966. Т. 3.
21. Ротман В.К. О формации «зеленых туфов» и некоторые связанные с ней проблемы // Геология и геофизика. – 1965. – № 12.
22. Савельева Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре / Труды ГИН АН СССР, вып. 404. – М.: Наука, 1987.
23. Свешников Г.Н. Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. – Л.: Наука, 1967.
24. Серавкин И.Б., Сопко П.Ф. Рудовмещающие структуры неметаморфизованных колчеданных месторождений (на примере Урала) / Международный геологический конгресс XXVII сессия. – М.: Наука, 1984.
25. Сергиевский В.М. Краткий геологический очерк меденосной вулканогенной зоны Урала. / Геология и полезные ископаемые Урала. Вып. 1. – М.: Госгеолиздат, 1947. – С. 169–177.
26. Суслов Л.К., Меркулов М.И. Колчеданные месторождения Карабашского района на Урале. – М.: АН СССР, 1932.
27. Тектоносфера Земли. – М.: Наука, 1978.
28. Тесалина С.Г., Масленников В.В., Трофимов О.В. Особенности строения и состава кластогенных руд Александринского медноколчеданного месторождения // Уральский минералогический сборник. – 1994. – № 3. – С. 131–140.
29. Хаин В.Е. Метаморфическая регенерация областей повторного орогенеза и проблема новообразования океанических впадин // Геотектоника. – 1995. – № 5.
30. Шадлун Т.Н. Особенности минерального состава, структур и текстур руд некоторых колчеданных месторождений Урала. – М.: Изд. АН СССР, 1950.
31. Шадлун Т.Н. Особенности строения колчеданных руд и их метаморфизм. – М.: Изд. АН СССР, 1954.
32. Шмидт А.И. Возрастные соотношения серно-колчеданного и золотополиметаллического оруденения Куросанского района (Южный Урал) // Геология рудных месторождений. – 1961. – № 6. – С. 24–40.
33. Ярош П.Я. Метаморфизм колчеданных месторождений Урала / Магматические формации, метаморфизм и металлогения Урала. – Свердловск, 1969. – С. 381–390.
34. Horikoshi E. Volcanic activity related to the formation of the Kuroko-tupe deposits in the Kosaca District // Japan Mineral. Deposita, 4, 1969.
35. Savkins F.J. Sulfide ore deposits in relation to plate tectonic // J. Geol., 80, 1972.
36. Uyeda S., Nishiwaki C. Stress field metallogenesis and mode of subduction // Spec. pap. Geol. Ass. Can., 20, 1980. **ГИАБ**

Воробьева Светлана Васильевна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, горный инженер-геолог, e-mail: vorobevaspb@mail.ru.

UDC 553.3.072 : 550.8.011

NATURAL TYPES OF THE PYRITACEOUS ORES AND CRITERIA FOR PROGNOSIS AND SEARCH INDUSTRIAL ORES (ON AN EXAMPLE OF URAL MOUNTAINS)

Vorobjova S.V., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor, Mining Engineer-geologist, e-mail: vorobevaspb@mail.ru, Saint-Petersburg, Russia.

Commercial sulfide ore deposits are the peculiar ore bodies formed on the basis of unstratified iron pyrite entrained in block folding and dynamometamorphism. Structural control of commercial sulfide ore deposits in the Ural is induced by destructive tectonogenesis (squeezing tectonics) and matured in the course of the second mountain building under synchronous oceanization of Atlantic rift valley bottom.

Key words: Ural Mountains, pyritaceous ores, greenschist, Evolution of the crystalline base, ejective tectonics.

REFERENCES

1. Amiraslanov A.A. *Mineralogicheskaya kharakteristika kolchedannykh mestorozhdenii Urala i vtorichnye protsessy v nikh* (Mineralogical character of the Ural sulfide ore deposits and secondary processes in them), Moscow, ONTI, 1937.
2. Vorob'eva S.V. *Otechestvennaya geologiya*. 2005, no 1, pp. 19–23.
3. Vorob'eva S.V. *Otechestvennaya geologiya*. 2009, no 3, pp. 14–21.
4. Vorob'eva S.V. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 8, pp. 116–122.
5. Vorob'eva S.V. *Vestnik Tambovskogo universiteta imeni G.R. Derzhavina. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki*. 2009, vol. 14, issue 3, pp. 628–631.
6. Zaikov V.V., Maslennikov V.V. *Pridonnye gidrotermal'nye postroiiki kolchedanonosnykh raionov* (Bottom hydrothermal structures in pyrite-containing regions). Sverdlovsk, UrO AN SSSR, 1988, pp. 94–96.
7. Ivanov S.N. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya*. 1941, no 2.
8. Ivanov S.N., Prokin V.A., Dolmatov G.K. *Trudy I Ural'skogo petrograficheskogo soveshchaniya*. vol. II. Sverdlovsk, 1963.
9. Kazanskii V.I. *Evolutsiya rudonosnykh struktur dokembriya: arkheiskie kratony i oblasti protoaktivitatsii. Rudonosnye struktury dokembriya* (Evolution of the Pre-Cambrian ore-bearing structures: Archaean cratons and protoactivation zones. Pre-Cambrian ore-bearing structures), Moscow, Nauka, 1982, pp. 2–69.
10. *Kolchedannye mestorozhdeniya mira*. Pod red. V.I. Smirnova (Pyrite ore deposits in the world. Smirnov V.I. (Ed.)), Moscow, Nauka, 1979.
11. *Kolchedannye mestorozhdeniya Urala* (Pyrite ore deposits in the Ural), Moscow, Izd. AN SSSR, 1950.
12. Kosarev A.M. *Geologiya i poleznye iskopaemye Yuzhnogo Urala* (Geology and minerals in the South Ural), Ufa, Izd. Bashkirskogo filiala AN SSSR, 1975.
13. Loginov V.P. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya geologicheskaya*. 1956, no 6.
14. Vorob'ev V.I., Kontar' E.S., Prokin V.A., Yakovlev G.F. *Mednye mestorozhdeniya prozhilkovo-vkraplennogo tipa na Urale. Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 1978, no 1, pp. 30–39.
15. Mitchell A., Garson M. *Global'naya tektonicheskaya pozitsiya mineral'nykh mestorozhdenii* (Global tectonic position of mineral deposits), Moscow, Mir, 1984.
16. Nestoyanova O.A. *Materialy po geologii Urala. Trudy VSEGEI. Novaya seriya*, t. 109 (The Ural geology. VSEGEI Transactions. New series, vol. 109), 1964.
17. Ostapenko G.T. *Rekrystallizatsiya mineralov v usloviyakh stressa. Geokhimiya*. 1968, no 2, pp. 234–237.
18. Perizhnyak N.A. *Paleovulkanizm i formirovanie blokovoi struktury Sibaiskogo mednokolchedannogo mestorozhdeniya (Yuzhnyi Ural). Trudy TsNIGRI* (Paleovolcanism and generation of block structure of Sibai copper-pyrite deposit (South Ural), TsNIGRI Transactions), issue 99, 1971.
19. Petrushevskii B.A. *Uralo-Sibirskaya epigertsinskaya platforma i Tyan'-Shan'* (Ural-Siberian epi-Hercynian Platform and Tien Shan), Moscow, Izd. AN SSSR, 1955.
20. Rokachev S.A. *II Ural'skoe petrograficheskoe soveshchanie. Tezisy dokladov* (II Ural Petrography Conference. Abstracts of papers), vol. 3, Sverdlovsk, 1966.
21. Rotman V.K. *Geologiya i geofizika*. 1965, no 12.

22. Savel'eva G.N. Gabbro-ul'trabazitovye komplekсы ofiolitov Urala i ikh analogi v sovremennoi okeanicheskoi kore. *Trudy GIN AN SSSR* (Gabbro-ultrabasite complexes of ophiolite in the Ural and the analogs in modern oceanic crust. GIN AN SSSR Transactions), issue 404, Moscow, Nauka, 1987.
23. Sveshnikov G.N. *Elektrokhimicheskie protsessy na sul'fidnykh mestorozhdeniyakh* (Electrochemical processes in sulfide ore deposits), Leningrad, Nauka, 1967.
24. Seravkin I.B., Sopko P.F. Rudo-vmeshchayushchie struktury nemetamorfizovannykh kolchedannykh mestorozhdenii (na primere Urala). *Mezhdunarodnyi geologicheskii kongress XXVII sessiya* (Enclosing structures of nonmetamorphosed pyrite occurrences (in terms of the Ural). International Geological Congress. Session XXVII), Moscow, Nauka, 1984.
25. Sergievskii V.M. *Geologiya i poleznye iskopaemye Urala*. Vyp. 1 (Geology and minerals of the Ural, issue 1), Moscow, Gosgeolizdat, 1947, pp. 169–177.
26. Suslov L.K., Merkulov M.I. *Kolchedannye mestorozhdeniya Karabashskogo raiona na Urale* (Pyrite deposits in Karabash, Ural), Moscow, AN SSSR, 1932.
27. *Tektonosfera Zemli* (Earth's tectonosphere), Moscow, Nauka, 1978.
28. Tesalina S.G., Maslennikov V.V., Trofimov O.V. *Ural'skii mineralogicheskii sbornik*. 1994, no 3, pp. 131–140.
29. Khain V.E. *Geotektonika*. 1995, no 5.
30. Shadlun T.N. *Osobennosti mineral'nogo sostava, struktur i tekstur rud nekotorykh kolchedannykh mestorozhdenii Urala* (Features of mineral composition, structure and texture of some pyrite deposits in the Ural), Moscow, Izd. AN SSSR, 1950.
31. Shadlun T.N. *Osobennosti stroeniya kolchedannykh rud i ikh metamorfizm* (Structural features of pyrite ore and its metamorphism), Moscow, Izd. AN SSSR, 1954.
32. Shmidt A.I. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 1961, no 6, pp. 24–40.
33. Yarosh P.Ya. *Metamorfizm kolchedannykh mestorozhdenii Urala. Magmatische formatsii, metamorfizm i metallogeniya Urala* (Metamorphism of pyrite deposits in the Ural. Magmatic formations, metamorphism and metallogeny of the Ural), Sverdlovsk, 1969, pp. 381–390.
34. Horikoshi E. Volcanic activity related to the formation of the Kuroko-tupe deposits in the Kosaca District. *Japan Mineral. Deposita*, 4, 1969.
35. Savkins F.J. Sulfide ore deposits in relation to plate tectonic. *J. Geol.*, 80, 1972.
36. Uyeda S., Nishiwaki C. Stress field metallogenesis and mode of subduction. *Spec. pap. Geol. Ass. Can.*, 20, 1980.



**ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ
ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ
(ПРЕПРИНТ)**

**ОПЫТ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ
ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

Штым Константин Анатольевич² – к.т.н., профессор, e-mail: kot_18@mail.ru; Дорогов Евгений Юрьевич² – к.т.н., доцент, руководитель образовательных программ, e-mail: evgen69.69@mail.ru; Соловьева Татьяна Алексеевна² – старший преподаватель, e-mail: mtasta@mail.ru; Головатый Сергей Викторович² – м.н.с.; Лесных Андрей Викторович² – старший преподаватель; Упский Василий Анатольевич² – к.т.н., доцент; Упский Михаил Васильевич² – старший преподаватель; Цыбульская Оксана Николаевна^{1,2} – к.т.н., старший научный сотрудник; Ксеник Татьяна Витальевна¹ – научный сотрудник; Чириков Александр Юрьевич¹ – вед. инженер-технолог; Перфильев Александр Владимирович^{1,2} – к.х.н, научный сотрудник; Буравлев Игорь Юрьевич^{1,2} – к.х.н., м.н.с.; Юдаков Александр Алексеевич^{1,2} – д.т.н., зам. директора по научной работе и инновациям; Азарова Юлия Александровна¹ – м.н.с.; Шлык Дарья Хамитовна¹ – м.н.с.; Трухин Иван Сергеевич¹ – аспирант; Цой Константин Алексеевич² – ассистент кафедры; Чистяков Сергей Владимирович² – ассистент кафедры; Гончаренко Юрий Борисович² – доцент; Дорогов Евгений Юрьевич² – к.т.н., доцент, руководитель образовательных программ; Лесных Екатерина Вячеславовна² – инженер НИРС; Штым Алла Сильвестровна² – к.т.н., доцент, профес-