

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Звездова Вадима Станиславовича «Модели медно-порфириновых рудно-магматических систем и месторождений для прогноза, поисков и оценки» представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук, по специальности 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения (геолого-минералогические науки)

Диссертационная работа В. С. Звездова является результатом многолетних исследований меднопорфириновых месторождений, проведенных в период 1975 – 2022 гг. в рамках выполнения госбюджетных тем. Актуальность работы определяется тем, что медно-(золото-молибден)-порфириновые месторождения являются ведущими по запасам и добыче Cu и Mo, а также сопутствующих компонентов (Au, Ag, Re). В то же время в России всего лишь 6 медно-порфириновых месторождений поставлено на Государственный баланс полезных ископаемых. Следовательно, поиск, оценка и всесторонние исследования месторождений этого геолого-промышленного типа несомненно важны и актуальны.

Цель представленной работы заключается в совершенствовании геолого-генетических моделей меднопорфириновых рудно-магматических систем и месторождений, являющихся основой прогнозно-поисковых моделей рудных районов (узлов) и полей, для модернизации методов и технологий прогноза, поисков и оценки новых месторождений.

Фактические материалы, положенные в основу работы получены автором в ходе многолетних исследований и включают результаты изучения геолого-структурных условий локализации, рудно-метасоматической зональности, минералого-геохимических особенностей руд и петрофизических характеристик меднопорфириновых месторождений и рудопроявлений России, Казахстана, Узбекистана, с привлечением анализа значительного количества отечественных и зарубежных публикаций по теме работы. Кроме того, использованы результаты работ по построению геолого-промышленных (статистических), количественных прогнозно-поисковых (параметрических), концентрационных градиентно-векторных и геолого-генетических моделей месторождений меднопорфиринового геолого-промышленного типа, а также материалы прогнозно-металлогенетических и поисковых исследований по оценке ресурсного потенциала территории РФ на меднопорфириновые и сопряженные руды цветных и благородных металлов с составлением разномасштабных специализированных прогнозных и геологических карт, в которых автор являлся ответственным исполнителем или руководителем работ по проектам.

Диссертация В. С. Звездова состоит из двух томов, общим объемом 553 стр. Структура работы включает введение, пять глав и заключение, 173 рисунка, 31 таблицу. Список литературы включает 383 библиографических ссылки.

Во введении диссертант обосновывает актуальность исследований, показывает научную новизну и практическую значимость своей работы. Здесь же сформулированы цели и задачи исследований, приведены пять защищаемых положений.

Научная новизна работы заключается в том, что автором предложено разделение меднопорфировых месторождений на две формационные группы по составу рудоносных вулканоплутонических формаций – базальтоидную и андезитоидную. Показано, что одним из главных факторов формирования гигантских меднопорфировых месторождений является наличие благоприятных структурно-петрофизических обстановок разгрузки рудоносных магматических очагов. Впервые для меднопорфировых месторождений Средней Азии и Казахстана применен комплекс методов оценки объемов минерализованной трещиноватости и петрофизического анализа рудовмещающих толщ. Автором усовершенствована и количественно обоснована модель меднопорфировой конвективно-рециклинговой рудообразующей системы. Предложено рассматривать комплексные меднопорфировые рудно-магматические системы в качестве рудных районов (узлов), а внутренние и фланговые части таких систем выделять в качестве рудных полей.

Практическая значимость исследований определяется созданием прогнозно-поисковых моделей рудных районов, узлов и полей, которые были использованы для оценки перспектив выявления меднопорфировых месторождений Востока России. Составлена серия цифровых карт, специализированных на меднопорфировое и сопутствующее оруденение, даны рекомендации по перспективности и рекомендуемой очередности постановки геологоразведочных работ различного масштаба. Разработанные методики оценки петрофизических и структурно-геологических параметров могут быть использованы для прогнозирования и предварительного оконтуривания минерализованных зон при поисках меднопорфировых месторождений.

В первой главе приводится обзор существующих моделей меднопорфировых рудномагматических систем и месторождений Мира. Обзор основан как на большом количестве опубликованных материалов, так и на собственных работах автора диссертации. Рассмотрены разные типы моделей меднопорфировых месторождений, в том числе, количественные статистические модели этих месторождений на основе мировой базы данных меднопорфировых месторождений. Автором проведен собственный анализ распределения месторождений по запасам руды, металлов и их содержаниям, рассчитаны корреляционные связи между этими параметрами. Сделаны важные выводы о том, что

месторождения семейства порфировых могут быть разделены на две группы, принадлежащие андезитоидным и базальтоидным вулканоплутоническим поясам, причем первые обладают значительными запасами Cu, Mo, Ag, тогда как вторые – содержат наибольшие запасы Au. Автором проведен также анализ пространственного распределения объектов порфирового семейства в зависимости от состава рудоносных вулканоплутонических поясов, на основе как собственных исследований, так и данных по мировым месторождениям. На основе материалов, представленных в первой главе автором сформулировано первое защищаемое положение: *В семействе меднопорфировых месторождений выделены две формационные группы, свойственные базальтоидным и андезитоидным вулканоплутоническим поясам (ВПП). Различия в строении и составе субстрата этих поясов отражаются не только в петрологии рудоносных плутоногенных формаций, рудно-метасоматической зональности месторождений, запасах и содержаниях Cu, Mo, Au и Ag в рудах, но в вертикально-латеральной рудно-формационной зональности рудно-магматических систем (РМС), во внутренних (стержневых) частях которых эти месторождения локализованы. Комплексная металлогения, т.е. сочетание месторождений разных типов в объеме таких систем, предопределяется составом и степенью дифференциации магматических очагов.*

Для РМС андезитоидных ВПП характерно пространственное совмещение рудных объектов, сформированных на разных этапах развития поясов, и месторождений их фундамента.

Положение вполне обосновано и принципиальных замечаний не вызывает. Есть два мелких вопроса:

1. В табл. 1.10 показано, что вулканические породы, входящие в состав базальтоидных вулканоплутонических поясов, вмещающих золото-медно-порфировые месторождения, могут содержать колчеданно-полиметаллические месторождения. Однако не указано существует ли генетическая связь между месторождениями этих двух рудно-формационных типов (порфировых и колчеданных).

2. Есть ли связь между редкометальным месторождением Акчатау с меднопорфировыми объектами раннего этапа развития Акчатаусской рудно-магматической системы?

Во второй главе диссертации кратко рассмотрены геодинамические, и более подробно – структурно-петрофизические обстановки формирования меднопорфировых месторождений, с акцентом на генезис крупных и сверхкрупных по запасам объектов. Автором установлено, что наряду с крупнообъемными магматическими очагами, в формировании крупных и сверхкрупных месторождений большую роль играют

петрофизические свойства перекрывающих пород. Выделены два типа таких «экранирующих» комплексов – с «упруго-пластичным» и «упруго-вязким» поведением. К первому типу относятся терригенно-карбонатные и карбонатные комплексы, ко второму – терригенно-вулканогенные. Также рассмотрены и другие факторы формирования крупных и сверхкрупных меднопорфировых месторождений – геодинамические обстановки, состав вмещающих пород. На основе приведенных материалов разработаны критерии прогноза и поисков, а также параметрические модели меднопорфировых месторождений. По данным, представленным во второй главе сформулировано второе защищаемое положение: *Меднопорфировые месторождения «мирового класса» формировались в отдельных сегментах андезитовидных и базальтоидных ВПП, на ранних этапах развития которых преобладал режим интенсивного коллизионного сжатия, подавлявший вулканизм и приводивший к возникновению мощных флюидонасыщенных магматических очагов в верхней части земной коры. Необходимым условием для рудонакопления в значительных масштабах в период разгрузки этих очагов была петрофизическая неоднородность геологических разрезов, а именно наличие над рудоносными интрузивами малопроницаемых толщ, способствовавших концентрированию металлов. Благоприятную роль играли карбонатные либо богатые железом мафические вмещающие породы, являвшиеся геохимическими барьерами для гидротермальных растворов и приводившие к отложению высокосортных руд, а также рудное вещество геохимических аномалий и месторождений субстрата андезитовидных ВПП, подвергнувшихся регенерации в тепловом поле плутонов.*

Сформировавшиеся в подобных обстановках объекты выделяются повышенными содержаниями металлов в рудах, отражающими совмещение в пространстве продуктов многостадийного магматизма и рудогенеза.

Материалы, представленные в главе 2 в полной мере обосновывают выдвинутое защищаемое положение. Некоторые замечания касаются результатов, не отраженных в защищаемом положении:

1. В разделе 2.1. рассмотрены геодинамические обстановки формирования крупных и сверхкрупных меднопорфировых месторождений, где указано, что все они сформированы магматических дугах. Из описания понятно, что такие месторождения формируются в островных дугах и активных континентальных окраинах андийского типа, но не указано, есть ли какие-либо различия в составе руд меднопорфировых месторождений, сформированных в той или другой обстановках.

2. Автором нигде не указывается, что все вышеуказанные магматические дуги – надсубдукционные, однако в работе не показано, существует ли взаимосвязь

меднопорфировых месторождений с типом субдукции и/или составом субдуцирующих пород,

3. Также не обсуждается зависимость характеристик меднопорфирового оруденения от состава рудоносных магматических образований и есть ли она?

4. Автором рассматривается механизм формирования рудных штокверков, за счет явлений гидроразрыва и контракции при кристаллизации рудоносных интрузивов и циркуляции магматогенных и метеорных вод, но физико-химические параметры этих процессов не приведены (температуры, давления, фазовый состав флюидов и др.).

5. На стр. 120 месторождения миссисипского типа отнесены к сингенетичным залежам, частично регенерированным и метаморфизованным под действием рудоносных магматитов, продуцирующих Au-Cu-Mo-порфировое месторождение Бингхэм. Однако месторождения типа «Долины Миссисиппи» (MVT) – метасоматические и эпигенетичны вмещающим карбонатным породам (например, Leach et al., 2005 и др.).

Третья глава диссертации самая объемная в первом томе. В главе приведены преимущественно авторские материалы исследования влияния деформационного поведения рудовмещающих сред на морфологию, строение и параметры формирования меднопорфировых штокверков, на содержания и запасы полезных компонентов и на изменения физико-механических свойств пород на разных стадиях развития меднопорфировых месторождений. Кроме того, были изучены изотопно-геохимические характеристики руд для оценки участия метеорных вод в рудообразовании. В качестве типовых объектов были выбраны крупные месторождения порфирового семейства (Au-Mo-Cu- и Mo-Cu-порфировые) Узбекистана и Казахстана. В начале главы подробно описана примененная методика исследований. Далее рассмотрены геолого-структурные условия залегания и определены физико-механические свойства пород месторождений. Приведены многочисленные планы и разрезы изученных объектов, в том числе показано распределение некоторых петрофизических параметров. Сделан вывод о том, что структурно-петрофизические обстановки, среди которых можно условно выделить «открытые» и «закрытые» (подэкранные), оказывают значительное влияние на морфологию и состав штокверков меднопорфировых месторождений. Приведено обсуждение механизмов формирования трещиноватости, где показано, что ведущая роль в трещинообразовании принадлежит явлениям гидроразрыва за счет дефлюидизации рудоносных интрузивов, и контракции магматических тел, сопровождающейся компенсационными просадками пород кровли. Исследования изотопного состава кислорода подтверждают участие в рудообразовании активизированных метеорных вод наряду с магматогенными. Представленные в третьей главе результаты обосновывают третье защищаемое положение:

Деформационное поведение пород при внедрении магмы и их фильтрационные свойства влияли на морфологию порфировых интрузивов, форму и строение сопряженных с ними рудоносных штокверков, уровни концентрации металлов в рудах и запасы месторождений, что необходимо учитывать при их поисках и оценке. Основными механизмами возникновения рудовмещающих структур были гидроразрыв и контракция при охлаждении, кристаллизации и дефлюидизации рудоносных магматических тел, приводившие к образованию трещин в их апикальных частях, а также в породах кровли с раскрытием более древних нарушений. Масштабы проявления этих процессов зависели от петрофизических характеристик вмещающих сред.

Метасоматические преобразования пород сопровождалось значительными изменениями их физико-механических свойств. Установление направленности и масштабов этих изменений может быть использовано для оконтуривания минерализованных зон.

Защищаемое положение вполне обосновано, замечания приведены в качестве дискуссии:

1. В описании методики изотопных исследований, в первом абзаце стр. 205, указано, что температурные условия образования кварца определялись декретометрией, однако декреттограммы не всегда отражают истинные температуры минералообразования.

2. Также в качестве дискуссии можно отметить, что появление изотопно-легкого кислорода в магматогенных флюидах можно объяснить не только примесью метеорных вод, но и явлениями фазовой сепарации магматогенного флюида, которая может быть проявлена как жидкость-пар, так и жидкость-жидкость (рассол-низкоконцентрированный флюид) – при повышенных P-T параметрах для водно-солевых систем P-Q типа, к которым, в том числе относятся водно-силикатные растворы. Признаки такого разделения отмечаются в плутоногенно-гидротермальных золоторудных (и не только) месторождениях, в том числе упоминания встречаются и в данной диссертационной работе (например, нижний абзац на стр. 105; второй абзац на стр. 158 и др.).

Второй том диссертации включает четвертую и пятую главу. В четвертой главе рассмотрены геолого-генетические модели меднопорфировых систем и месторождений. В начале главы приведен обзор существующих генетических концепций и условий формирования меднопорфировых месторождений. Далее, на основе авторских материалов построены градиентно-векторные модели рудных тел ряда месторождений. На основе полученных данных предложена конвективно-рециклинговая модель рудообразующей

системы меднопорфировых месторождений. Автором, на основе изучения типовых объектов и математического моделирования, установлены количественные характеристики этой модели, включающие сведения о геометрии и структуре рудообразующей гидротермальной системы, масс-балансовые расчеты металлов и флюидов, гидродинамика флюидных потоков, модели тепломассопереноса. Сделан вывод о том, что конвективно-рециклинговая модель формирования меднопорфировых месторождений наиболее полно отвечает современному уровню накопленных знаний. Материалы четвертой главы обосновывают четвертое защищаемое положение: *Строение и параметры РМС, пространственно-временная эволюция гидротермальных потоков в их объеме, расшифрованные с помощью градиентно-векторных концентрационных моделей рудных тел и геохимических ореолов, свидетельствуют о том, что условия формирования меднопорфировых месторождений наиболее полно (количественно) могут быть описаны смешанно-флюидной конвективно-рециклинговой геолого-генетической моделью. Она предполагает двойственную природу транспортирующих агентов (флюидов, растворов) и рудного вещества – магматогенную (мантийную и коровую) и инфильтрационную (метеорную), а в качестве «проводников» тепла и металлоносных флюидов от «материнских» магматических очагов – порфировые интрузивы и брекчиевые трубки. Многооборотная циркуляция гидротермальных растворов, возникавшая в тепловом поле интрузивов на средних и поздних стадиях развития РМС, приводила к частичному перераспределению металлов.*

Представленные в главе материалы полностью обосновывают защищаемое положение. Некоторые замечания:

1. Для более полной характеристики приведенных градиентно-веторных моделей месторождений следовало привести схему опробования.

2. Масс-балансовые расчеты сделаны исходя из растворимости меди в 5 г/т по аналогии с современными гидротермами (стр. 53). Однако реальная растворимость может отличаться от расчетной, в особенности в случае вышеупомянутой фазовой сепарации флюида на рассол и раствор.

3. Рециклинговая модель предполагает заимствование части рудообразующих компонентов из вмещающих пород. Есть ли в ближайшем окружении крупных и суперкрупных меднопорфировых месторождений породы, специализированные на медь?

В пятой главе диссертации приведены результаты авторских прогнозно-металлогенических исследований Востока России на меднопорфировые и сопутствующие руды, с выделением перспективных площадей и созданием прогнозно-поисковых моделей разноранговых металлогенических таксонов – рудных районов, узлов и полей. На основе

изучения рудно-магматических систем вулканоплутонических поясов Востока России автором выделены четыре группы таких систем: (1) на сочленении выступов фундамента вулканоплутонических поясов с вулканотектоническими депрессиями, (2) в магматогенных поднятиях субстрата вулканоплутонических поясов, (3) в вулкано-купольных структурах и (4) «спрессованные» по вертикали системы типа «интрузив под вулканом», встречающиеся во всех трех названных обстановках. Установлено, что меднопорфировые рудно-магматические системы по масштабам соответствуют рудным районам или узла, а их внутренние (меднопорфировые) и фланговые (с сопутствующим оруденением) части могут рассматриваться как рудные поля. Детально рассмотрены рудно-магматические системы Амурско-Сихотэ-Алинской и Корякско-Камчатской меднопорфировых провинций. В пределах указанных провинций выделены металлогенические зоны, рудные районы и узлы меднопорфирового типа, которые ранжированы по степени перспективности. Материалы пятой главы послужили обоснованием для пятого защищаемого положения: *Комплексные меднопорфировые РМС по масштабам эквивалентны рудным районам и узлам. Их внутренние и фланговые части с собственно меднопорфировыми, скарновыми и жильными месторождениями меди, полиметаллов, золота, серебра, а также внешние с эпitherмальными стратонидными, жильными и жильно-прожилковыми золоторудными и золото-серебряными месторождениями могут рассматриваться как рудные поля. Закономерное расположение разнотипных продуктов рудогенеза в объеме таких РМС допускает возможность прогноза их недостающих элементов при наличии любого из них, что учтено в разработанных прогнозно-поисковых моделях потенциальных рудных районов (ПРР) и узлов (ПРУ). На их основе проведено прогнозно-металлогеническое районирование восточных регионов России. В металлогенических зонах ряда минерагенических провинций выделены и околочены ПРР и ПРУ, оценена их перспективность на меднопорфировые и сопряженные руды.*

Положение достаточно хорошо обосновано представленными материалами. В качестве дискуссии можно отметить, что часть месторождений, из тех, что отнесены к фланговым и внешним частям меднопорфировых рудно-магматических систем (например, жильные золоторудные) могут быть не связаны с данными системами, а формироваться в результате других рудообразующих процессов.

В заключении приведены главные выводы из проведенных исследований.

Оценивая диссертационную работу В. С. Звездова в целом, следует отметить, что все выдвинутые защищаемые положения обоснованы. Диссертационная работа хорошо иллюстрирована, написана грамотным научным языком, автореферат соответствует тексту диссертации. Исследования выполнены на высоком научном уровне, а сама работа весьма

насыщена фактическим материалом и отличается глубокой проработкой материала и интерпретацией полученных данных.

При выполнении исследований, наряду с авторскими результатами, был проработан большой объем литературы по теме работы, что отражено во внушительном списке использованной литературы, включающем 383 источника.

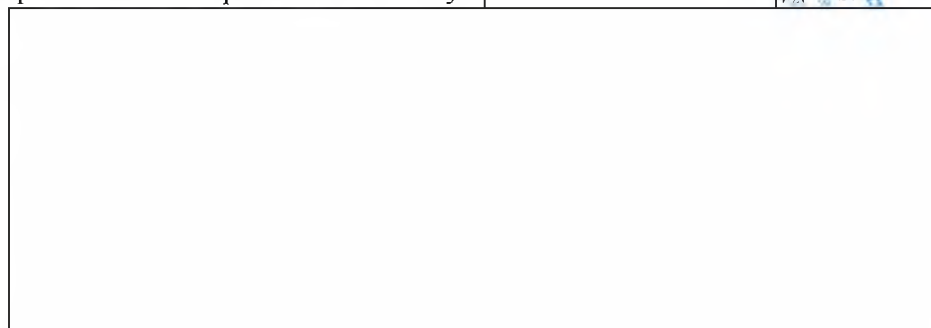
В ходе проведения исследований В. С. Звездовым проведено крупное обобщение всей имеющейся информации по строению, составу и генезису меднопорфировых месторождений, предложены количественные модели формирования таких объектов, что можно квалифицировать как научное достижение. Результаты работ имеют важное хозяйственное значение для государства, поскольку автором проведено прогнозно-металлогеническое районирование Востока России, оконтурены и выделены меднопорфировые рудные районы, узлы и поля, ранжированные по степени их перспективности, что вносит значительный вклад в развитие минерально-сырьевой базы страны. Основные положения работы опубликованы в 67 работах, в том числе 2 монографиях и 40 статьях, из них 21 в журналах, включенных в перечень ВАК, докладывались на многочисленных научных и научно-практических конференциях. Кроме того, результаты авторских исследований использованы при написании отчетов по многочисленным госбюджетным темам.

Таким образом, рассматриваемая диссертационная работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук, в частности, пунктам 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление правительства РФ №842 от 24.09.2013 г.). Автор диссертационной работы, Звездов Вадим Станиславович, заслуживает присвоения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Заместитель директора
по научной работе ГИН СО РАН,
заведующий лабораторией
металлогении и рудообразования,
доктор геолого-минералогических наук



Дамдинов Булат Батуевич



Сведения об официальном оппоненте:

ФИО: Дамдинов Булат Батуевич

Почтовый адрес: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а

Телефон:

E-mail

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт им. Н. Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН)

Должность: заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией металлогении и рудообразования

Специальность: 1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Я, Дамдинов Булат Батуевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Дамдинов Б. Б.

28.10.2022 г.