



Научная статья

DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-1-96-104

УДК 338.984

Типовые модели разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальнего Востока России

А.С. Десяткин*, В.М. Усова†, Е.М. Котельникова‡

* Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, *Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23*

†‡ Российский университет дружбы народов, *Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*

История статьи:

Поступила: 10 октября 2018

Доработана: 25 января 2019

Принята: 12 февраля 2019

Ключевые слова:

медно-порфировый тип месторождений;
полезные ископаемые;
;геологоразведочные работы;
типичная модель разработки;
Дальний Восток

Рассмотрены перспективы разработки медно-порфировых месторождений, открытых в пределах наиболее крупных рудопоявлений и перспективных площадей Дальнего Востока России. Переоценка больших запасов меди с учетом попутных элементов (золота, серебра, молибдена) на основе полученных геологических данных повышает экономическое обоснование освоения уже открытых месторождений, а также продолжения геологоразведочных работ на выявленных рудопоявлениях. Проведение геологоразведочных работ в определенной последовательности обуславливает необходимость составления комплексных прогнозно-поисковых и многофакторных моделей разработки крупных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ. Комплексные модели объектов прогноза и поисков формируются применительно к каждому геолого-промышленному типу. В статье предложены типовые модели разработки комплексных медно-порфировых месторождений на различных стадиях проведения геологоразведочных работ. Модели отражают особенности глубинного строения объектов моделируемого класса и главные черты их рудно-метасоматической и геохимической зональности, а также тенденции изменения состава и физических свойств рудоконтролирующих геологических тел с глубиной. Представлены теоретические основы прогнозно-поисковых признаков, отражающие закономерности проявления изучаемых рудоносных площадей Дальнего Востока РФ. Проведен анализ комплекса геолого-геофизических исследований глубинного строения медно-порфировых месторождений. Сформулированы методические положения моделей разработки объектов медно-порфирового типа для повышения эффективности геолого-экономической оценки соответствующих геологических объектов. Данные подходы позволяют комплексно оценить параметры разведки и разработки месторождений с учетом экспортно-ориентированной направленности и инвестиционной привлекательности Дальневосточного региона России.

* Главный менеджер АО «Росгеология», соискатель кафедры экономики минерально-сырьевого комплекса

† Старший преподаватель департамента геологии, горного и нефтегазового дела, Инженерная академия; usova-vm@rudn.ru

‡ Ассистент, департамент недропользования и нефтегазового дела, к.г.-м.н.

© Десяткин А.С., Усова В.М., Котельникова Е.М., 2019



Введение

Складывающаяся в настоящее время ситуация на рынке цветных металлов характеризуется увеличением дефицита качественных руд, этим обосновывается необходимость пересмотра отношения к поиску и оценке новых горнопромышленных типов месторождений. Ухудшение структуры и качества разведанных запасов приводит к трансформации всей минерально-сырьевой базы меди. На протяжении последних десятилетий отечественная сырьевая база меди, в отличие от большинства зарубежных, базировалась не на медно-порфировых месторождениях, а на объектах сульфидного медно-никелевого, стратиформного и колчеданного геолого-промышленных типов [1].

Одно из основных направлений увеличения ресурсной базы — вовлечение в отработку новых медно-порфировых месторождений. Медно-порфировые месторождения представляют собой крупные комплексные месторождения размером до первых километров, обладающие незначительным содержанием и огромными запасами с низкой себестоимостью за счет открытой добычи (не менее 500 тыс. т меди и 150—200 т золота при среднем содержании 0,5—1 % меди и 0,6—1 г/т золота). Такие месторождения содержат несколько полезных компонентов, которые целесообразно добывать и затем реализовывать в различных отраслях экономики.

Основными направлениями дальнейшего развития минерально-сырьевого комплекса на ближайшее будущее являются освоение высокоперспективных медно-порфировых месторождений Дальнего Востока — Песчанка, Баимское и Малмыж, а также изучение перспективных и потенциально перспективных рудных районов, узлов и проявлений в пределах системы вулканоплутонических поясов Дальнего Востока.

1. Модели разработки медно-порфировых месторождений

Проведение геологоразведочных работ на медно-порфировых объектах в определенной последовательности обуславливает необходимость составления комплексных прогнозно-поисковых и многофакторных моделей разработки медно-порфировых месторождений. Комплексные модели объектов прогноза и поисков комплексных медно-порфировых месторождений строятся для каждого

типа (рудноформационного или геолого-промышленного).

Данные модели составляют на основе разработанных прогнозно-поисковых признаков, которые отражают закономерности их проявления в геологических, геофизических, минералого-геохимических характеристиках изучаемых рудоносных площадей [2].

Модели разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальнего Востока РФ должны отражать основные черты рудно-метасоматической и геохимической зональности, особенности глубинного строения объектов моделируемого класса и тенденции изменения состава и физических свойств рудоконтролирующих геологических тел с глубиной.

Основными приемами моделирования разработки комплексных медно-порфировых месторождений РФ являются изучение эталонных объектов, которые имеют различный уровень эрозионного среза, и объемное геолого-геофизическое моделирование эталонных объектов. На основании полученных результатов исследования конкретных объектов строится единая модель [2].

Система составления типовых моделей разработки комплексных медно-порфировых месторождений для прогноза, поисков и разведки состоит из трех этапов: работ общегеологического назначения, поиска и оценки месторождений, разведки и освоения месторождений.

2. Модели первого этапа разработки медно-порфировых месторождений

На рис. 1 представлены типовые модели первого этапа разработки комплексных медно-порфировых месторождений. Рассмотрим характерные черты таких моделей месторождений Дальневосточного региона РФ.

Геолого-генетические модели — это модели геологических процессов, которые указывают на формирование и геологическое строение металлогенических зон, рудных узлов, рудных районов, рудных полей и месторождений и дают возможность сделать прогноз условий локализации рудных тел.

Рудно-формационные модели

Для трех уровней разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ — близповерхностного, субвулканиче-

ского и гипабиссального — рассматриваются геолого-генетические модели порфировых объектов на примере эталонных объектов. Классическим моделям порфировых объектов других регионов мира соответствует группа гипабиссальных проявлений [4].



Рис. 1. Типовые модели первого этапа
[Figure 1. Typical models of the 1st stage]

Согласно принципам структурно-формационного подхода к региональному прогнозированию разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ характеризуются в основном недоизученностью и недоопиcкованностью.

Поисковые геолого-геофизические модели разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ позволяют оценивать физические свойства горных пород и выбирать поисковую геофизическую технологию. Обобщенные поисковые геолого-геофизические модели позволяют рационально проводить поисковые работы и осуществлять как прямые поиски сульфидных минералов меди, так и структур в которых эти минералы могут быть сосредоточены.

Оптимальный комплекс геофизических методов разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ должен включать в себя такие методы, как:

- магнитометрия;
- измерения магнитной восприимчивости и остаточной намагниченности;

— электроразведка с применением современных технологий.

Главным поисковым методом разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ является электротомография удельных электрических сопротивлений и вызванной поляризации. Особое внимание при работе с данными электротомографии необходимо уделять их качеству. Основное направление развития технологии электротомографии связано с увеличением соотношения «сигнал — помеха» [10].

Модели данного этапа разработки комплексных медно-порфировых месторождений относятся к работам общегеологического назначения, проводимым на стадии регионального геологического изучения недр.

3. Модели второго этапа разработки медно-порфировых месторождений

На рис. 2 представлены типовые модели второго этапа разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальнего Востока РФ. Рассмотрим характерные черты данных моделей.

Одним из самых эффективных и распространенных методов выявления медно-порфировых оруденений являются геохимические поиски. Стоит отметить, что на поисковой стадии геологоразведочных работ медно-порфировых месторождений определение перспективности медно-порфировых объектов по геохимическим данным представляется нетривиальной задачей.

В результате гипергенных процессов, в зависимости от климатических и ландшафтных условий, в зоне гипергенеза происходит перераспределение главных и второстепенных рудных элементов, что оказывает влияние на результаты количественной оценки их содержания в рудах и ресурсов по вторичным ореолам.

В основе прогноза оруденения на глубину лежат характеристики эндогенной зональности оруденения. Поскольку медно-порфировые, или порфирово-эпитермальные, системы, как правило, являются полистадийными и помимо медно-порфирового оруденения могут продуцировать еще несколько типов сопутствующей минерализации, выявление геохимической зональности каждой отдельной порфирово-эпитермальной системы требует индивидуального и комплексного подходов, то есть интеграции геохимических, минералогических, термобарометрических и других данных [8].



Рис. 2. Типовые модели второго этапа
[Figure 2. Typical models of the 2nd stage]

Принцип аналогии, который учитывает общие закономерности формирования месторождений полезных ископаемых разных типов, является научно-методической основой разработки типовых прогнозно-поисковых моделей разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ.

Прогнозно-поисковые модели разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ формируются из сопряженных и соподчиненных элементов рудоносного пространства, которые определяют геологическую обстановку локализации объекта поисков, включают геологические предпосылки, поисковые критерии и другие показатели, отражающие наличие и степень проявления рудообразующих процессов.

На их основе выделяются свойственные данному геолого-промышленному типу характеристики месторождений, помогающие определить систему поисковых методов.

Прогнозно-поисковые модели дают ответы на вопросы об облике скопления рудного вещества, его геологической обстановке и критериях оценки.

По мнению В.В. Авдониной, основными элементами прогнозно-поисковых моделей являются:

— ассоциации горных пород, рудоносные формации, их части (фаии, фазы и т.п.) в закономерных сочетаниях, определяемых структурой и палео-

тектонической обстановкой месторождения, — совокупность этих факторов определяет условия нахождения объекта;

— наличие и уровень концентрации косвенных (минеральных, химических, физических) индикаторов данного типа оруденения, выделяемых на основе применения минералогических, геохимических и геофизических поисковых методов;

— совокупность прямых признаков, указывающих на наличие данного вида полезного ископаемого;

— изменение характеристик элементов модели в зависимости от геологической обстановки (признаки скрытого оруденения, влияние перекрывающих толщ, уровень эрозионного среза, пострудные дислокации и т.д.).

В соответствии со спецификой разных стадий геологических работ при формировании прогнозно-поисковых моделей каждого типа необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- масштабность и детальность исследования;
- категории и виды поисковых критериев;
- исходные и результирующие объекты моделирования;
- виды работ;
- формы графического представления моделей [3].

К фундаментальным свойствам геологической среды относятся характеристики геологического

вещества, геологической структуры, а также представления о динамическом или энергетическом состоянии минеральных масс и их взаимодействиях, формирующих наблюдаемую структуру.

В соответствии с классической механикой геолого-структурные модели разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ включают представления о геологических структурах в наблюдаемом виде (геостатика), а также представления о силах, условиях и механизмах формирования структуры объекта (палеогеодинамика).

Такие модели качественно отличаются от моделей, создаваемых на базе историко-геологических принципов. В основе построения геолого-структурных моделей лежат три главных положения:

- принцип адекватности отображения реальной геологической ситуации — ориентирует на документацию реально наблюдаемых характеристик породных масс и исключает процедуры восстановления того, что предшествовало формированию наблюдаемой структуры, однако в отношении сил, условий и механизмов формирования;

- принцип выделения главного формационного мегакомплекса тектонитов зон смятия в целом и его детализации на основе классификации породных масс и структурно-вещественных комплексов;

- принцип интер- и экстраполяции при определении положения границ геологических тел и неоднородностей строения.

Принципы адекватности описания и типизации динамометаморфических породных ассоциаций, адаптированные к условиям конкретной формационно-метаморфической структуры, позволяют полнее использовать структурно-вещественный подход к разработке теоретических основ, а принцип интер- и экстраполяции — совершенствовать создание адекватных графических моделей [11].

Обязательным условием успешной работы является сочетание различных методов разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ в целях разбраковки различных аномалий.

С.А. Григоровым представлена методика геохимического прогноза и поисков разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ на основе фундаментальных законов самоорганизации диссипирующей среды с выявлением структурных признаков эволюции рудо- и ореолообразования на всех уровнях формирования геохимического поля.

На стадии разведки и эксплуатационной разведки месторождений при сложном геологическом строении, несмотря на высокую плотность разведочной сети, часто возникает вопрос о поиске и геометризации скрытых тел. Коллективом авторов из ИГЕМ РАН по Северо-Восточному Забайкалью разработана методика, включающая комплекс методов:

- структурно-парагенетический анализ;
- тектонофизический анализ;
- стереогеометрический анализ;
- компьютерное 3D-моделирование.

Комплекс данных методов позволяет моделировать механизм деформаций и его последствия, а при сравнении с установленной картиной распределения жильных тел — прогнозировать новые тела [12].

Исходя из петрофизических свойств вмещающих пород и руд, можно задать ограничение интервала ожидаемых значений удельного электрического сопротивления и поляризуемости, что на порядок повышает достоверность формализованной инверсии электроразведочных данных. Информацию об электрических свойствах горных пород и руд получают на основе петрофизических лабораторных измерений на образцах либо по результатам электрического каротажа бокового каротажного зондирования разведочных скважин [5].

В настоящее время исследования в области комбинированной геотехнологии, проводимые ведущими горными школами в России и за рубежом, ограничивались преимущественно изучением взаимодействия процессов физико-технических открытых и подземных геотехнологий.

Существующие методики обоснования параметров комбинированной разработки в основном предусматривают определение границ перехода от открытого к подземному способу разработки без учета возможности применения физико-химических геотехнологий, имеющих существенный резерв повышения полноты и комплексности освоения рудных месторождений за счет вовлечения в разработку бедного природного и техногенного минерального сырья.

Использование системного анализа горно-геологических, гидрогеологических, геохимических условий освоения комплексных медно-порфировых месторождений Дальневосточного региона РФ, исследование особенностей вещественного состава полиметаллических руд позволяют выявлять рудные участки, ранее не разрабатываемые традиционными физико-техническими способами добычи в силу таких факторов, как:

- особенности залегания;
- сложный минеральный состав;
- низкое содержание ценных компонентов.

Вовлечение в эксплуатацию некондиционных руд и отходов производства обеспечивает такие конкурентные преимущества предприятий отрасли, как:

- восполнение минерально-сырьевой базы горнодобывающих предприятий, снижение издержек производства на 10–15 %;
- повышение извлекаемой ценности добываемых и перерабатываемых руд на 30–40 %;
- снижение потерь полезных ископаемых в недрах на 15–20 %;
- повышение степени комплексности освоения минеральных ресурсов на 30–40 %;
- снижение экологической нагрузки [9].

Модели данного этапа используются на стадии поисковых работ и для оценки месторождений.

4. Модели третьего этапа разработки медно-порфировых месторождений

На рис. 3 представлены типовые модели третьего этапа разработки комплексных медно-порфировых месторождений. Рассмотрим их характерные черты.

Из основных характеристик для построения моделей медно-порфировых месторождений типич-

ным является набор зональных метасоматических изменений, имеющих непосредственную корреляцию с участками, богатыми рудой [6]. Наиболее яркие примеры:

- калиевые изменения;
- кварц-серицитовые вторичные изменения;
- расширенная аргиллизация;
- пропилитизация.

Обычно гипогенные аргиллитовые изменения образуются относительно поздно в процессе образования порфировой системы, но могут быть и более ранними. Некоторые исследователи доказывают, что разница между набором метасоматитов не связана с отличиями в самих порфировых системах [7].

А.В. Канцелем и А.В. Червоненкисом в 1990 году была предложена мультиструктурная модель геохимического поля, которая позволяет представить его как произведение низко- и высокочастотной функции пространственных координат, что дает возможность увеличить достоверность производимых оценок промышленных параметров месторождений полезных ископаемых.

Одна из этих координат носит шумовой характер и выступает в качестве высокочастотного случайного процесса, а другая координата является главной функцией (трендом), отражающей общие тенденции роста уровня концентраций или его снижения в пределах изучаемого объема недр.



Рис. 3. Типовые модели третьего этапа
[Figure 3.] Typical models of the 3rd stage

Мультиструктурная модель представляет поле концентраций как модулированное случайное поле, где шумовая составляющая играет роль несущей функции, а тренд — моделирующей. Они принципиально отличаются от традиционной аддитивной модели тем, что предполагают существенную зависимость между трендом и остатком тренда.

При этом характеристикой тренда выступает его уровень, а характеристиками его остатка оказываются дисперсия, спектральные и частотные свойства. Корреляционные связи между уровнем тренда и свойствами остатка (эффект модуляции) зафиксированы на природных объектах. Адекватность мультиструктурной модели подтверждается реальным геохимическим полем, что полезно в качестве дополнительного критерия при проведении прогнозно-оценочных работ [13].

Заключение

Анализ этапов моделирования разработки комплексных медно-порфировых месторождений в силу их многообразия и специфики позволяет выделить такие обобщающие факторы их применения, как комплексность, системность и использование передовых технологий проведения геолого-разведочных работ.

В настоящее время уже известные типы оруденения, являющиеся основой добычи в регионах, исчерпали свой потенциал. Существенным резервом для развития поисковых работ являются районы со сложными ландшафтно-геоморфологическими условиями, которые требуют новых методик обнаружения скрытых и перекрытых комплексных медно-порфировых месторождений.

Для повышения уровня геолого-экономической эффективности использования моделей разработки комплексных медно-порфировых месторождений необходимо:

— применять современные геохимические, изотопно-геохимические и изотопно-геохронологические методы изучения геологических объектов;

— задействовать современные методы обработки и визуализации информации, позволяющие систематизировать большие объемы разноплановых данных;

— формировать генетические модели наиболее перспективных типов рудных месторождений, обращаясь к новым современным парадигмам и достижениям в области геодинамики, петрологии, термодинамики и других направлений геологии и смежных областей.

Комплексное применение данных методик позволит повысить уровень геолого-экономической эффективности использования моделей разработки комплексных медно-порфировых месторождений РФ.

Список литературы

- [1] *Кимельман С.А.* Новая экономическая модель развития минерально-сырьевой и промышленно-перерабатывающей отраслей (предложения в решение Экспертной группы № 1 по обновлению «Стратегии — 2020»). 20 с.
- [2] *Коробейников А.Ф.* Теоретические основы моделирования месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов. 2-е изд., испр. и дополн. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 182 с.
- [3] *Кочнев А.П., Юренков Е.Г.* Основы типизации прогнозно-поисковых моделей // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2014. № 1 (44). С. 74—81.
- [4] *Крюков В.Г.* Эталоны порфировых объектов в Приамурье как основа прогнозирования крупнообъемного оруденения // Вопросы геологии и комплексного освоения природных ресурсов Восточной Азии. Четвертая Всероссийская научная конференция, 5—7 октября 2016 г., Благовещенск: сборник докладов. Том 1. Благовещенск, 2016. 65 с.
- [5] *Куликов В.А.* Электроразведочные технологии на этапах поиска и оценки рудных месторождений: автореф. дис. ... д-ра г.-м. наук. М., 2015. 46 с.
- [6] *Мансуров М.И.* Модели рудно-магматических систем медно-порфировых месторождений Гошгарчайского рудного поля (Малый Кавказ, Азербайджан) // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2014. № 4 (47). С. 29—42.
- [7] *Мансуров М.И., Сафари М.Г., Каландаров Б.Г., Керимов В.М., Мамедова А.Г.* Зональность оруденения и метасоматитов в медно-порфировых месторождениях Гошгарчайской рудно-магматической системы (Малый Кавказ, Азербайджан) // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 1. № 44. С. 38—54.
- [8] *Сидорина Ю.Н.* Геохимические критерии выявления и оценки медно-порфирового оруденения в Баимской меднорудной зоне (Западная Чукотка): дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2016. 27 с.
- [9] *Капунов Д.Р., Рьльникова М.В.* Комбинированная разработка рудных месторождений. М.: Горная книга, 2012. 344 с.
- [10] *Ундрахтамир А., Иванова А.А.* Геолого-геофизические модели медно-порфировых месторождений Северной Монголии // ГеоБайкал-2010: материалы Первой на-

- учно-практической конференции. URL: <http://www.earthdoc.org/publication/51839> (дата обращения: 19.11.2018).
- [11] Павлова И.Г., Сахновский М.Л. Модели рудно-магматических систем молибденово-медных порфировых месторождений как основа их поисков и прогнозирования. URL: <http://tnaant.ru/rudoobrazovanie/32-modeli-rudno-magmaticheskikh-sistem-molibdenovomednyh-porfirovyh-mestorozhdeniy-kak-osnova-ih-poiskov-ignozirovaniya.html> (дата обращения: 19.11.2018).
- [12] Итоги VIII Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов», 16–18 апреля 2018 г. URL: <http://www.tsnigri.ru/index.php:itogi-viii-mezhdunarodnoj-nauchno-prakticheskoy-konferentsii&catid> (дата обращения: 26.11.2018).
- [13] Коробейников А.Ф. Теоретические основы моделирования месторождений полезных ископаемых. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 182 с. URL: <http://portal.tpu.ru/SHARED/a/AFK/ucheba/modelirovanie.pdf> (дата обращения: 30.11.2018).

Для цитирования:

Десяткин А.С., Усова В.М., Котельникова Е.М. Типовые модели разработки комплексных медно-порфировых месторождений Дальнего Востока России // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2019. Т. 20. № 1. С. 96–104. DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-1-96-104

Research paper

Standard models for exploration and development complex copper-porphyry deposits in the Far East of the Russian Federation

Alexey S. Desyatkin*, Valentina M. Usova†, Elena M. Kotelnikova‡

* Russian State Geological Prospecting University, 23 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117997, Russian Federation

† Peoples Friendship University of Russia (RUDN University), 6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

Article history:

Received: October 10, 2018

Revised: January 25, 2019

Accepted: February 12, 2019

Keywords:

copper-porphyry type of deposits;
mineral resources;
prospecting works;
standard exploration model;
Far East

The article deals with the prospects of development of copper-porphyry deposits discovered within the largest ore occurrences and prospecting areas of the Russian Far East. Revaluation of large reserves of copper with associated elements account (gold, silver, molybdenum) on geological data based increases the economic justification for the development of already discovered deposits, as well as the continuation of exploration work on the identified ore occurrences. Geological exploration in a certain sequence necessitates the preparation of complex prospecting, appraisal and multifactor models for the development of large copper-porphyry deposits in the Far Eastern region of the Russian Federation. Complex models of geological objects for prospecting and searches of complex copper-porphyry deposits are formed in relation to each geological and industrial type. In the article, authors offer exploration typical models to develop of complex copper-porphyry deposits at different stages of geological survey. The models show the features of the deep structure of the geological objects of the simulated class and the main features of their ore-metasomatic and geochemical zoning, as well as trends in the composition and physical properties of ore-controlling geological bodies with depth. Authors present the theoretical basis of prospecting and appraisal features, reflecting the patterns of manifestation of the studied ore-bearing areas in the Far East, Russia, leads the analysis the complex of geological and geophysical studies of the deep structure of copper-porphyry deposits, formulates methodical approaches for develop modelling of copper-porphyry type fields to increase an efficiency of a geological and economic assessment of these geological objects. These approaches make it possible to comprehensively assess the parameters of exploration and development of deposits, taking into account the export-oriented orientation and investment attractiveness of the Far Eastern region of Russia.

* Postgraduate student of Department of Mineral and Natural Resource Complex Economy; senior manager, Rosgeology, JSC

† Senior Lecturer of Department of Geology, Mineral Development and Oil & Gas Engineering, Academy of Engineering; usova-vm@rudn.ru

‡ Senior Lecturer, Department of Geology, Mineral Development and Oil & Gas Engineering, Academy of Engineering, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

References

- [1] Kimelman SA. *New economic model of development of mineral resources and industrial processing industries*. Proposals to the decision of the Expert group No. 1 to update The “Strategy—2020”. (In Russ.)
- [2] Korobeynikov AF. *Theoretical bases of the modeling of mineral deposits*: textbook. Second edition. Tomsk: Polytechnic University Publ.; 2009. (In Russ.)
- [3] Kochnev AP, Yurenkov EG. Fundamentals of typification of exploration models. *Siberian branch of the Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, exploration and development of mineral deposits*. 2014;(1—44): 74—81. (In Russ.)
- [4] Kryukov VG. Standards of porphyry objects in the Amur region as a basis for forecasting large-volume mineralization. *Issues of geology and integrated development of natural resources in East Asia. Fourth all-Russian scientific conference, 5—7 October 2016, Blagoveshchensk: collection of papers*. 2016;(1). (In Russ.)
- [5] Kulikov VA. *Electrotechnologies at the prospecting and evaluate stages of ore deposits*: the thesis on competition of a scientific degree of the Doctor of Geological-Mineralogical Sciences. Moscow; 2015. (In Russ.)
- [6] Mansurov MI. Ore-magmatic systems of porphyry copper deposits models of Gasparzinho ore field (Caucasus Minor, Azerbaijan). *Scientific news of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of natural Sciences. Geology, prospecting and exploration of ore deposits*. 2014;(4—47): 29—42. (In Russ.)
- [7] Mansurov MM, Safari MG, Kalandarov BG, Kerimov VM, Mamedova AG. Zoning of metasomatites and mineralization in porphyry copper deposits Gasparticle ore-magmatic system (Caucasus Minor, Azerbaijan). *Scientific news of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of natural Sciences. Geology, exploration and development of mineral deposits*. 2018;41(1): 38—54. (In Russ.)
- [8] Sidorina YN. *Geochemical criteria for the detection and evaluation of copper-porphyry mineralization in the Baim copper-ore zone (Western Chukotka)*: thesis of Candidate of Geological and Mineralogical Sciences. Moscow; 2016. (In Russ.)
- [9] Kaplunov DR, Rylnikova MV. *Combined development of the ores deposits*. Moscow: Gornaya kniga Publ.; 2012. Available from: http://incot.ru/www/docs/exh_acc/09_rac_prirod/09_rac_prirod_itog_tez.pdf (accessed: 03.12.2018). (In Russ.)
- [10] Undrahtamir A, Ivanova AA. Geological and geophysical models of copper-porphyry deposits in Northern Mongolia. *Academic materials of the scientific and practice forum “GeoBaikal-2010”*. Available from: <http://www.earthdoc.org/publication/51839> (accessed: 19.11.2018). (In Russ.)
- [11] Pavlova IG, Sakhnovsky ML. *Models of ore-magmatic systems of molybdenum-copper porphyry deposits as a basis for their search and prediction: collection of scientific articles*. Available from: <http://tnaant.ru/rudoobrazovanie/32-modeli-rudno-magmaticheskikh-sistem-molibdenovomednyh-porfirovyh-mestorozhdeniy-kak-osnova-ih-poiskov-i-gnozirovaniya.html> (accessed: 19.11.2018). (In Russ.)
- [12] *The results of the VIII International scientific and practical conference “Scientific and methodological basis of forecasting, prospecting, evaluation of deposits of diamonds, precious and non-ferrous metals”, Moscow, April 16—18, 2018: collection of scientific articles*. Available from: <http://www.tsnigri.ru/index.php:itogi-viii-mezhdunarodnoj-nauchno-prakticheskoy-konferentsii&catid> (accessed: 26.11.2018). (In Russ.)
- [13] Korobeynikov AF. *Theoretical bases of modeling of mineral deposits*. Tomsk: TPU Publ.; 2009. Available from: <http://libed.ru/knigi-nauka/800149-5-ministerstvo-obrazovaniya-nauki-rossiyskoy-federacii-federalnoe-agentstvo-obrazovaniyu-gosudarstvennoe-obrazovat.php> (accessed: 30.11.2018). (In Russ.)

For citation:

Desyatkin AS, Usova VM, Kotelnikova EM. Standard models for exploration and development complex copper-porphyry deposits in the Far East of the Russian Federation. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2019;20(1): 96—104. DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-1-96-104 (In Russ.)