

УДК 528:553.43'411.074.078(470+571)

О. В. ПЕТРОВ (ВСЕГЕИ), Е. А. КИСЕЛЁВ (Роснедра),
 А. В. МОЛЧАНОВ, В. В. ШАТОВ, Т. Н. ЗУБОВА, А. В. ТЕРЕХОВ,
 В. Н. БЕЛОВА, С. В. КАШИН, В. В. СЕМЁНОВА, А. Е. СОБОЛЕВ,
 Н. С. СОЛОВЬЁВ, В. А. ШАМАХОВ (ВСЕГЕИ)

**Карта закономерностей размещения
 золото-медно-порфировых месторождений России масштаба 1 : 2 500 000**
 (на основе комплектов государственных геологических карт
 масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения)

Рассматриваются содержание, методика и прогнозно-минерагеническая составляющая Карты закономерностей размещения золото-медно-порфировых месторождений России масштаба 1 : 2 500 000, впервые созданной на основе обобщения результатов работ по составлению комплектов государственных геологических карт Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения. Карта подготовлена в соответствии с государственным заданием Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) в 2017–2019 гг. в рамках международного сотрудничества по проекту «Глубинные структуры и металлогения Северной, Центральной и Восточной Азии» и оформлена в виде ГИС-проекта (в формате ArcGIS 10.2). Содержит в качестве основных тематических «слоев» геологические, гидротермально-метасоматические, геохимические, космоструктурные, геофизические и др. критерии, представленные на соответствующих специализированных картах геологического содержания масштаба 1 : 2 500 000. На карте отражено положение 297 рудных и потенциально рудных узлов, в том числе 205 по территории Дальневосточного федерального округа, перспективных на обнаружение рудной минерализации золото-медно-порфирового типа. Приводятся рекомендации по направлению дальнейших геологоразведочных работ на порфировое оруденение.

Ключевые слова: золото-медно-порфировые месторождения России, металлогения, закономерности размещения порфировых объектов.

O. V. PETROV (VSEGEI), E. A. KISELEV (Rosnedra),
 A. V. MOLCHANOV, V. V. SHATOV, T. N. ZUBOVA, A. V. TEREKHOV,
 V. N. BELOVA, S. V. KASHIN, V. V. SEMENOVA, A. E. SOBOLEV,
 N. S. SOLOV'EV, V. A. SHAMAKHOV (VSEGEI)

**Map of distribution patterns of copper-gold-porphyry deposits
 in Russia at a scale of 2,500,000**
 (based on state geological mapping
 at 1:1 M scale, the 3rd generation)

The content, preparation procedure and predictive-mineragenic component of the 1:2.5 M Map of distribution patterns of copper-gold-porphyry deposits in Russia, first compiled based on summarizing the results of work on compiling sets of State geological maps of the Russian Federation at a scale of 1:1 M, the 3rd generation are discussed. The Map has been prepared from 2017 to 2019 as part of the International project «Deep Structure and Metallogeny of Northern, Central and Eastern Asia». The Map is designed in the form of a GIS project (in ArcGIS 10.2) and includes as thematic “layers” geological, hydrothermal-metasomatic, geochemical, cosmostructural, geophysical and other criteria, represented on relevant special-purpose geological maps, scale 1:2.5 M. The Map reflects the location of 297 ore and potentially ore clusters, including 205 clusters in the Russian Far East, promising for the discovery of ore mineralization of the gold-copper-porphyry type. The article provides recommendations on the direction of further exploration aimed at forecasting gold-copper-porphyry deposits.

Keywords: gold-copper-porphyry deposits of Russia, metallogeny, patterns of porphyry distribution.

Для цитирования: Петров О. В. Карта закономерностей размещения золото-медно-порфировых месторождений России масштаба 1 : 2 500 000 (на основе комплектов государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 третьего поколения) / О. В. Петров, Е. А. Киселёв, А. В. Молчанов, В. В. Шатов, Т. Н. Зубова, А. В. Терехов, В. Н. Белова, С. В. Кашин, В. В. Семёнова, А. Е. Соболев, Н. С. Соловьёв, В. А. Шамахов // Региональная геология и металлогения. — 2020. — № 84. — С. 5–24.

Введение. В настоящее время во ВСЕГЕИ накоплен обширный фактический материал по характеристике золото-медно-порфировых месторождений территории России, обстановкам их проявления и закономерностям размещения, а также количественным оценкам прогнозных ресурсов перспективных объектов порфирового типа, полученный в ходе проведения работ по составлению комплектов государственных геологических карт Российской Федерации м-ба 1 : 1 000 000 третьего поколения (ГК-1000/3) и положенных в основу создания Карты закономерностей размещения золото-медно-порфировых месторождений России м-ба 1 : 2 500 000 (далее Карта закономерностей).

Кроме того, при составлении карты широко использовались новые данные по оценке возраста кристаллизации рудоносных магматических пород, окolorудных метасоматитов и руд порфировых месторождений России. Такая информация в последние годы стала доступной для использования благодаря широкому применению в структурных подразделениях ВСЕГЕИ инновационных методов изотопной геохимии и геохронологии, а также комплекса геофизических, геохимических, космогеологических и других методов исследований при проведении регионального металлогенического анализа. Обобщение и интерпретация полученных данных на региональном уровне позволили авторам статьи подойти к созданию рассматриваемой Карты закономерностей.

Методика работ. В основу создания ГИС-проекта Карты закономерностей, подготовленного в программной среде ArcGIS с использованием основного приложения платформы ArcMap (версия 10.2), были положены подходы к региональному металлогеническому анализу территории Российской Федерации, разработанные в разные годы при участии таких известных представителей металлогенической научной школы ВСЕГЕИ, как Ю. А. Билибин, С. С. Смирнов, А. Д. Щелов, Д. В. Рундквист, А. А. Смыслов, А. И. Семёнов, Е. Д. Карпова, А. П. Никольский, В. С. Домарев, П. М. Татарин, Е. Т. Шаталов, Н. П. Михайлов, Ю. В. Богданов, Н. С. Малич, Е. П. Миронюк, В. С. Кормилицын, Ю. Г. Старицкий, В. М. Терентьев, В. П. Феоктистов, Е. В. Плющев, О. В. Петров и многие другие [16].

Авторами статьи был проанализирован обширный фактический материал по вопросам генезиса и геодинамического положения месторождений порфирового семейства, включая геолого-генетические модели отдельных золото-медно-порфировых месторождений, нашедший отражение в различных опубликованных и фондовых источниках [2–14; 17; 21; 22; 29; 30; 32–38], а также данные, полученные в ходе собственных геологических исследований в различных регионах России.

Кроме того, в статье использованы сведения А. И. Ханчука [23–25], О. В. Петрова и соавторов

[18; 19] по характеристике геологических, *минерагенических*, петрохимических и геохимических особенностей коллизионных позднеальб-сеноманских рудоносных магматических пород в связи с открытием в Хабаровском крае крупного золото-медно-порфирового месторождения Малмыж. Изучался опыт проведения прогнозно-металлогенических и поисковых работ в различных регионах мира и России, нацеленных на выявление золото-медно-порфировых месторождений в различных геодинамических и геологоструктурных обстановках.

В результате были разработаны региональные критерии прогнозирования золото-медно-порфировых месторождений, которые отражены в легенде и на полотне самой карты.

Созданный ГИС-проект по составу и строению является многослойным (рис. 1), что позволило авторам рассматривать местоположение разноранговых минерагенических таксонов (минерагенических зон, рудных и потенциально рудных районов и узлов) и конкретных порфировых месторождений в потенциальных геофизических полях, областях развития различных типов гидротермально-метасоматических изменений, в пределах развития различных по возрасту, генезису и составу магматических ареалов, на площадях интерпретационных структур космофотоматериалов, в региональных геохимических полях (геохимических зонах, районах, узлах) и т. д.

При создании ГИС-проекта применялись данные, полученные различными исследователями при подготовке комплектов ГК-1000/3. В некоторых случаях для уточнения границ минерагенических таксонов использовались материалы комплектов Гостеолкарт-200/2. По конкретным минерагеническим таксонам, включая провинции, зоны, районы, узлы, а также в целом по федеральным округам Российской Федерации анализировались и обобщались сведения по прогнозным ресурсам различных категорий (P_3 , P_2 , P_1).

На созданной таким образом Карте закономерностей в форме ГИС-проекта отдельные тематические «слои» фактически отражают закономерности распределения конкретных прогнозных критериев: геологических (магматических), тектонических, геофизических, космоструктурных, гидротермально-метасоматических, геохимических, минерагенических (рудноформационных) и т. д.

С учетом проведенного анализа степени проявления конкретных прогнозных критериев предложен список номенклатурных листов по федеральным округам для проведения ГДП-200/2 первой и второй очередей как перспективных для локализации площадей под поиски крупнотоннажных месторождений золото-медно-порфирового типа.

Общие положения. Остановимся кратко на освещении некоторых общих вопросов генезиса, зональности и строения рудоносных порфировых

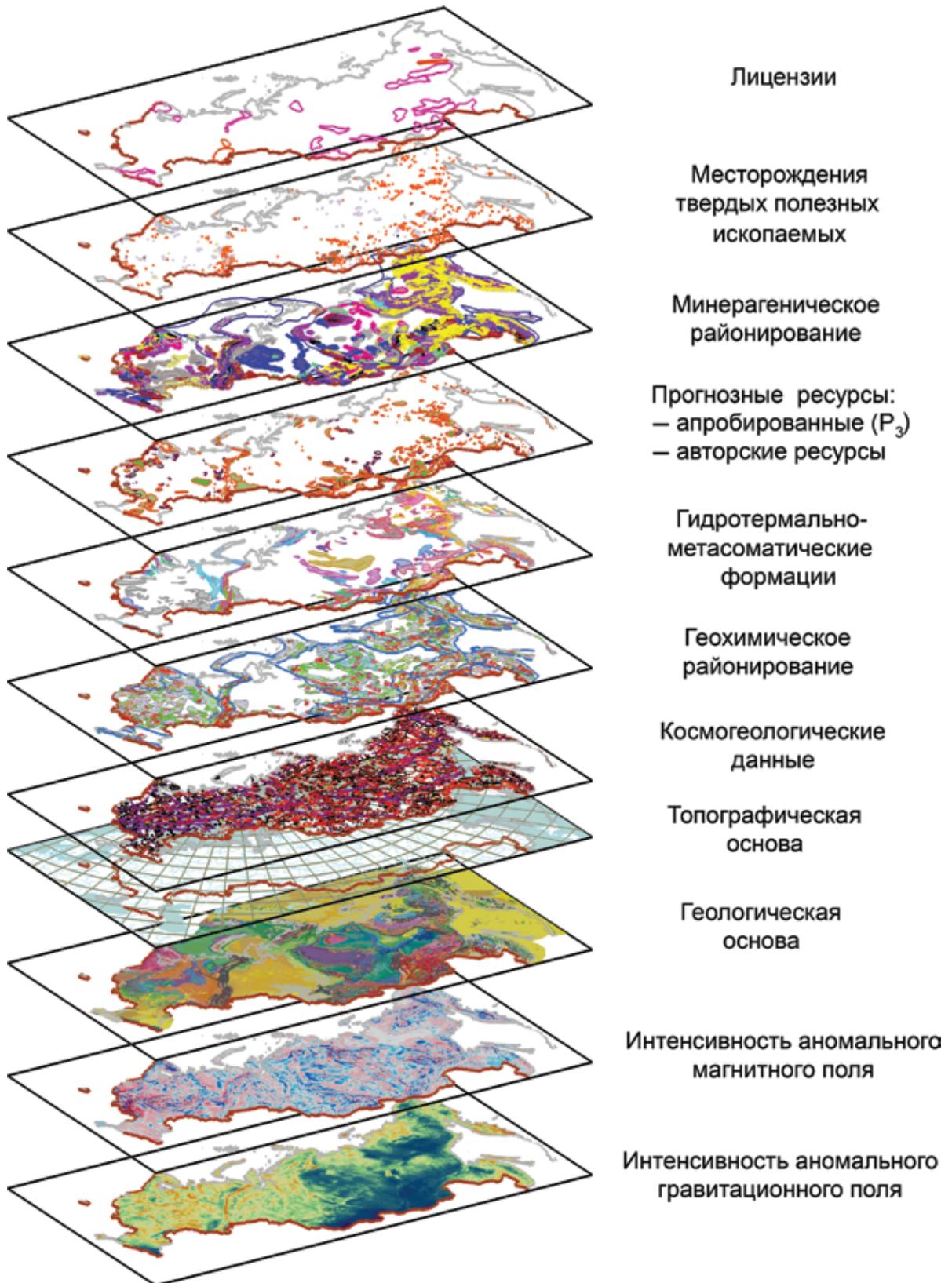


Рис. 1. Компоненты (тематические «слои») ГИС-проекта *Карты закономерностей*

систем на основе изучения отечественных и зарубежных литературных источников.

Месторождения порфирового семейства относятся к классу постмагматических гидротермальных и представляют собой крупные скопления

небогатых медных, молибденово-медных, золото-медных и молибденовых руд прожилково-вкрапленного штокверкового типа с большим объемом гидротермально-метасоматических изменений рудовмещающих пород. Руды неразрывно

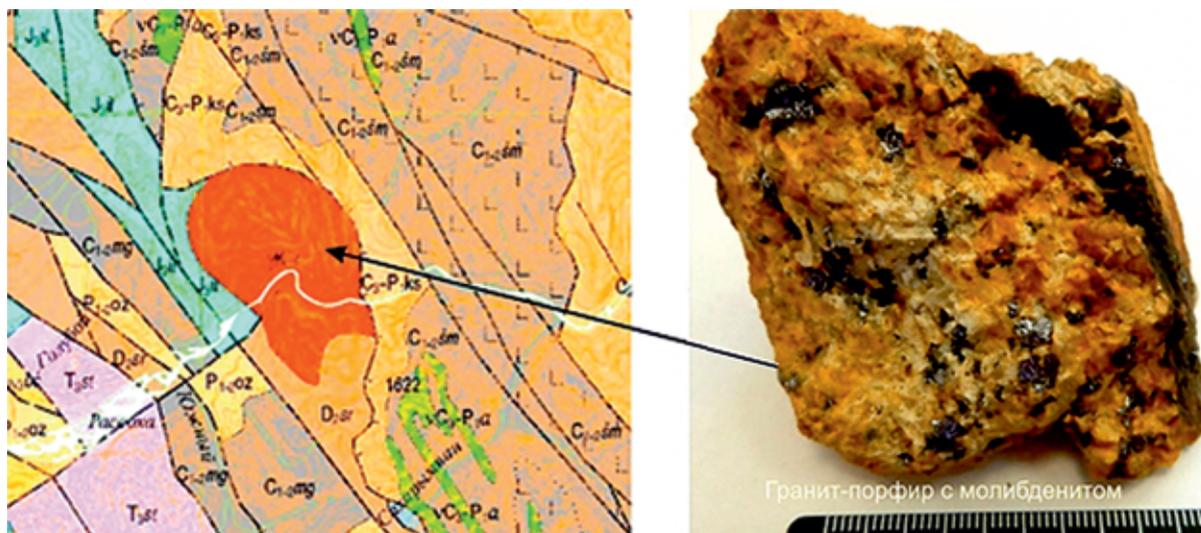


Рис. 2. Молибденитовая минерализация в гранит-порфирах Рассошинского массива позднеюрского возраста (слева фрагмент геологической карты листа Q-55-XXIX, XXX)

связаны в пространстве и времени с порфировыми интрузивами гранитоидного (граниты, гранодиориты, кварцевые диориты, диориты), монцониоидного (габбро-монциты, монциты, кварцевые монциты) и щелочного (щелочно-полевошпатовые сиениты, кварцевые сиениты) составов, принадлежащими калий-натриевым, калиевым и ультракалиевым магматическим ассоциациям и, как правило, формирующимися вслед за полнокристаллическими (фанеритовыми) разностями магматических пород [12; 21; 30]. При этом существенно медное оруденение, развитое в фанеритовых породах, локализуется в интрузивах повышенной основности, а молибденное в гранитах. Главная масса руд молибден-медно-порфировых месторождений сосредоточена исключительно в интрузивных породах (рис. 2), тогда как среди медно-порфировых месторождений выделяются участки, в которых рудные тела залегают и во вмещающих породах – в эффузивах, осадочных и метаморфических толщах (рис. 3).

Главными эпохами проявления порфирового рудообразования на планете являются:

– *кайнозойская*, с которой связано формирование 43 % месторождений, или 345 рудных объектов из 800 учтенных. Среди них Cu, Cu-Au, Cu-Mo и Mo-порфировые месторождения Средиземноморско-Азиатского, Западно-Тихоокеанского и Восточно-Тихоокеанского подвижных поясов – Грасберг, Чукикамата, Эль-Теньенте, Эль-Сальвадор, Рио-Бланко, Кляймакс, Пангуна, Бингем, Дизон, Хендерсон и др.

– *мезозойская*, в период которой образуется 35 % месторождений (278 объектов). Среди них преимущественно порфировые месторождения Западно-Тихоокеанского и Восточно-Тихоокеанского окраинно-континентальных интрузивно-вулканических поясов и Средиземноморско-Азиатского подвижного пояса: Пebbл, Песчанка, Малмыж, Бор, Медет, Хайлэнд Валей, Эггингтон и др.

– *палеозойская*, с которой связано формирование 15 % месторождений (120 объектов). Среди них месторождения порфирового семейства преимущественно Урало-Монгольского подвижного пояса, включая складчатые структуры Казахстана, Средней Азии, Монголии и Юго-Восточного



Рис. 3. Коренные выходы интенсивно смятых терригенных и терригенно-вулканогенных образований палеозойского возраста с обильной медной минерализацией

Китая, а также Центральной Европы и Северо-Американских Аппалачей: Кальмакыр, Оюу-Толгой, Эрдэнэт, Коунрад, Нурказган, Бошекуль, Коксай, Актогай, Михеевское, Сорское, Ак-Суг и др.

– *протерозойская*; в этот период образовалось менее 7 % месторождений (48 объектов). Среди них порфиновые объекты, распространенные преимущественно в пределах складчатых структур древних щитов – в Австралии, Африке, Южной и Северной Америке, на территории Восточно-Европейской платформы: Лобаш, Маунт-Плезант, Гаспе, Боддингтон и др. В ряде случаев их принадлежность к данному типу оспаривается, а палеореконструкции с выделением вулканоплутонических поясов невозможны из-за высокой интенсивности метаморфизма соответствующих магматических комплексов.

Установленная закономерность нарастающего проявления порфинового рудообразования в истории Земли от древних эпох к молодым не является уникальной. Близкие тенденции формирования во времени характерны также для ртутных, сурьмяно-ртутных и золото-серебряных месторождений. Природа такой направленной эволюции порфинового рудообразования не до конца понятна и является предметом жарких споров среди ученых [9; 12; 30; 36].

Порфиновые месторождения относятся к числу главных источников меди, молибдена и золота на нашей планете. На долю порфиновых месторождений приходится от 50 до 60 % мирового производства меди, 35–40 % – золота и более 95 % мирового производства молибдена. По состоянию на декабрь 2005 г. суммарные разведанные запасы меди, сосредоточенные в приблизительно 800 утченных средних, крупных и уникальных по размерам порфиновых месторождениях, оцениваются в 450 млн т металла, а золота – в 17 тыс. т металла.

Порфиновые месторождения характеризуются штокверковой формой проявления рудной минерализации и преимущественно крупными размерами рудных тел с невысокими содержаниями и относительно равномерным пространственным распределением главных полезных компонентов в рудах, что создает благоприятные условия для открытого способа их эксплуатации.

Средние содержания Cu в рудах порфиновых месторождений – 0,3–0,9 % (в зоне окисления они возрастают до 1,5 %), Au – 0,1–0,9 г/т и Mo – 50–500 г/т. Учитывая крупные объемы минерализованных горных пород на порфиновых месторождениях, их нередко называют большеобъемными, или крупнотоннажными. Средние объемные параметры рудных тел порфиновых месторождений измеряются многими сотнями кубических метров и редко первыми кубическими километрами (0,4–0,8 до 1,1–1,3 км³). Для сравнения – средние размеры медно-колчеданных рудных залежей в 6–10 раз меньше.

Средние запасы Cu в медно- и молибден-медно-порфиновых месторождениях измеряются

многими миллионами тонн металла. Например, в рудах самых крупных на планете уникальных медно-молибден-порфиновых месторождений Эль-Теньенте, Рио-Бланко и Чукикамата в Чили содержится 82, 80 и 68 млн т Cu соответственно.

Средние запасы Au в медно- и золото-медно-порфиновых месторождениях измеряются первыми сотнями тонн, реже первыми тысячами тонн металла. Например, в рудах самых крупных на планете уникальных золото-медно-порфиновых месторождений Грасберг в Папуа – Новая Гвинея, Кальмакыр в Узбекистане, Бингэм в США, Оюу-Толгой в Монголии и Пибл на Аляске содержится 2600, 2350, 1800, 1400 и 1350 т Au соответственно.

Средние запасы Mo в молибден- и молибден-медно-порфиновых месторождениях измеряются первыми сотнями тысяч тонн, реже первыми миллионами тонн металла. Например, в рудах самых крупных на планете уникальных медно-молибден-порфиновых и молибден-порфиновых месторождений Кляймакс в США, Чукикамата и Эль-Теньенте в Чили, Хендерсон в США сосредоточено 3,0, 2,8, 2,6 и 1,5 млн т Mo соответственно [9; 12; 30; 36].

К примеру, рудник *Грасберг* и одноименное месторождение – это самый крупный горнодобывающий комплекс в мире по золоту и третий по меди. Он расположен в провинции Папуа (Индонезия), на западе о. Папуа – Новая Гвинея, вблизи наивысшей горной вершины Папуасского хребта, горы Пункак (Puncak Jaya) высотой около 5000 м. Общие запасы руды (доказанные + вероятные) комплекса Грасберг на конец 2007 г. оценивались в 2712 млн т при среднем содержании в рудах Cu – 1,04 %, а Au – 0,9 г/т [33; 34]. Карьерная добыча в Грасберге будет оставаться эффективной еще многие десятилетия. После перехода на подземную отработку работа рудника будет продолжаться по крайней мере еще столетие. Доказанные запасы оцениваются более чем в 70 млрд долларов США при текущей цене за металл (> 4 млрд т при содержаниях 0,6 % Cu и 0,5 г/т Au), по данным Геологической службы США. Без сомнения, месторождение Грасберг является одним из крупнейших открытий в горнодобывающей отрасли этого века.

Следующим примером может выступать недавно открытое гигантское месторождение *Пибл* на Аляске, расположенное в 320 км к юго-западу от Анкориджа и имеющее наибольшие (после Грасберга) запасы золота по сравнению с любым другим порфиновым месторождением в мире (3033 т Au при содержании 0,35 г/т). Оруденение связано с интрузивными телами батолита Касканак, прорывающего юрско-меловые флишеидные отложения Кахилтна. Месторождение Пибл формировалось в течение 10 млн лет, начиная с внедрения гранодиоритовых и диоритовых пластовых интрузивов, щелочных пород и связанных с ними брекчий, а затем субщелочных гранодиоритов батолита Касканак, возраст которого насчитывает 90 млн лет. Месторождение Пибл делится на два

блока – Восточный и Западный, которые отличаются особенностями проявления гидротермально-метасоматической деятельности [29]. Западный рудный блок погружен примерно на 500 м от поверхности, в то время как восточный перекрыт осадочными и вулканическими позднемиоценовыми толщами мощностью до 1700 м. Рудная минерализация представлена халькопиритом, борнитом, пиритом, самородным золотом и электроумом. По состоянию на 31.01.2009 разведанные запасы меди этого месторождения оцениваются в 36,6 млн т при бортовом содержании условной Cu – 0,3 %, Au 3042 т и Mo – 2529 тыс. т (при средних содержаниях металла 0,35 г/т и 0,02 % соответственно).

Возможность отработки штокверковых руд порфириновых месторождений карьерами, высокий коэффициент извлечения металлов, комплексный характер руд – все это обеспечивает низкую себестоимость добычи «порфириновой» меди и золота.

В то же время в России сейчас отсутствуют промышленные предприятия, нацеленные на добычу медно-порфириновых руд в крупных и уникальных месторождениях [3].

Открытие в последние годы большого числа медно-порфириновых месторождений (Пеббл, Малмыж, Песчанка и др.) в уже известных и новых рудных районах дает основание предполагать, что роль порфириновых объектов в мировой экономике в будущем будет только неуклонно возрастать [13; 17; 26–28; 30; 35; 36; 38]. Например, в Приаргунской металлогенической зоне возможно открытие объектов, подобных крупному месторождению Быстринское (см. рис. 16).

Рудные тела медно-порфириновых месторождений характеризуются комплексным пирит-халькопиритовым, иногда с борнитом и магнетитом, составом и представляют собой штокверки сульфидных и сульфидсодержащих прожилков (рис. 4). Среди главных рудных минералов в рудах порфириновых месторождений преобладают пирит, халькопирит, молибденит и магнетит. Реже встречаются борнит, халькозин, энаргит, сфалерит, галенит, пирротин и тетраэдрит. Среди нерудных минералов большую часть составляют кварц, серицит, мусковит, хлорит, биотит, калиевый полевой шпат, анкерит, кальцит и каолинит. Редкими являются эпидот, актинолит, турмалин, ангидрит, альбит, цуниит, диаспор, андалузит, корунд и др.

Морфология рудных тел на месторождениях порфиринового семейства определяется

морфологией порфириновых интрузивов, с которыми ассоциирует оруденение, а также с планом разрывных нарушений.

Установлено [11–15], что в качестве основных геодинамических обстановок проявления рудных объектов порфиринового типа выступают области:

- *тектоно-магматической активизации древних кратонов*, для которых характерны щелочные калиевые гранитоиды с преимущественно молибденовым оруденением (кордильерский тип);

- *активных континентальных окраин* с широким проявлением монзонитоидного магматизма над зонами субдукции, в том числе в пределах восточной части Тихого океана (андийский тип), с молибденово-медным оруденением;

- *островодужных обстановок* вдоль активных континентальных окраин, в том числе и в пределах западной части Тихого океана, с известково-щелочным (диоритовым) рудоносным магматизмом. Для этого типа характерно в основном золото-медное порфириновое оруденение.

На территории Российской Федерации в настоящее время известно 68 разномасштабных месторождений порфиринового типа, 469 проявлений минерализации (Cu, Mo, Au), относящихся к порфириновому семейству, и 229 пунктов минерализации. Подавляющее большинство этих рудных объектов было выявлено в ходе проведения геологосъемочных работ ГК-1000/3, ГСР-200/1 и ГДП-200/2.

Наиболее крупными по запасам месторождениями медно-порфиринового типа на территории Российской Федерации являются: Песчанка на Чукотке, Малмыж в Хабаровском крае, Томинское и Михеевское на Урале, Ак-Сугское в Туве, Сорское в Алтае-Саянской области, Бамское и Морозкинское на территории БАМ и др.

Гидротермально-метасоматические образования на месторождениях порфиринового семейства представлены во внешней зоне прожилитами с локальными телами скарнов и скарноидов, а во внутренних частях самих порфириновых массивов – биотитовыми фельдшпатолитами, филлизитами, березитами и аргиллизитами. При этом кварцсерицитовые метасоматиты или филлизиты, как правило, развиваются на медно-молибденовых месторождениях, а хлорит-карбонат-серицитовые гидротермалиты березитового облика – на медно-золоторудных. Кроме рассмотренных типов метасоматических изменений на месторождениях, связанных с брекчиевыми образованиями, широким развитием пользуется турмалинизация [9; 12; 15; 20; 21; 31; 35; 36].

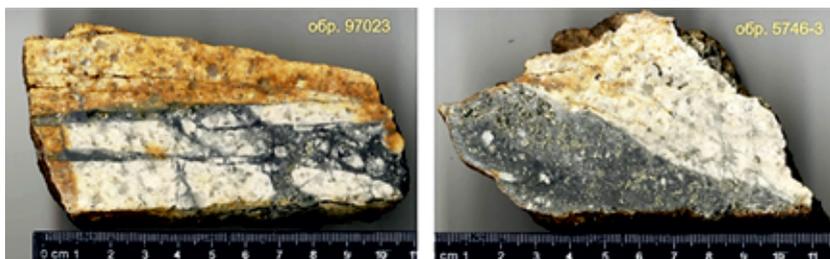


Рис. 4. Форма проявления рудной минерализации на золото-молибден-порфириновом рудопроявлении Голец Билибина (Алданский щит, лист О-52-XXVII)

Рудопроявление обнаружено сотрудниками Алданской партии ВСЕГЕИ в полевой сезон 2016–2017 гг. при проведении ГДП-200/2

Рудно-метасоматическая зональность на месторождениях медно-порфиrowого типа проявлена как по вертикали, так и латерали и имеет в подавляющем большинстве случаев концентрически-зональный характер при отчетливой подчиненности их морфологии «геометрии» рудоносных интрузивных массивов [20; 31].

Важным обстоятельством является то, что на месторождениях порфиrowого семейства гидротермально-метасоматические преобразования пород проявлены на значительно больших площадях, чем промышленная минерализация. Это касается, прежде всего, периферических зон пропититизации и развитых в их пределах ореолов пиритизации, нередко достигающих в поперечнике первых километров, что, безусловно, может быть использовано в качестве одного из *гидротермально-метасоматических признаков* прогнозирования месторождений порфиrowого семейства.

В обобщенной рудно-геохимической зональности порфиrowых систем молибденовая минерализация преимущественно тяготеет к их центру, которая во все стороны от него и вверх по восстанию при некотором перекрытии сменяется сначала медной, а затем, тоже с перекрытием, полиметаллической рудной минерализацией. Нередко при незначительном эрозионном срезе на верхних горизонтах порфиrowых рудно-метасоматических систем во вмещающих аргиллизированных вулканитах отмечается эпитермальное золото-серебряное оруденение с медью [5–10; 12; 14; 30; 35; 36].

Таким образом, анализ приведенных выше опубликованных материалов по месторождениям порфиrowого семейства демонстрирует с большой долей вероятности, что разновозрастные (кайнозойские, мезозойские и палеозойские) вулканоплутонические пояса (ВПП) территории России обладают высокой перспективностью на выявление в их пределах месторождений порфиrowого (Cu-Au-Mo) семейства. При этом было установлено, что крупные медно-порфиrowые месторождения приурочены, как правило, к вулканоплутоническим поясам, характеризующимся структурно-неоднородным фундаментом мозаичного строения [17]. В пределах металлогенических поясов рудные районы локализуются в блоках с преобладающим фемическим типом разреза и приурочены к палеоподнятиям с редуцированно проявленным орогенным вулканизмом и широким развитием интрузивного магматизма габбро-диорит-гранодиоритовой, габбро-сиенит-диоритовой и близких им по составу формаций.

В структурно-тектоническом отношении типовая позиция крупных и средних месторождений порфиrowого семейства определяется участками пересечения разнопорядковых глубинных разломов линейного типа как между собой, так и с оперяющими их более мелкими разрывами, а также с кольцевыми и купольными структурами. При этом месторождения порфиrowого типа локализуются преимущественно в эндоэкзоконтактовых зонах малых порфиrowых тел, представляющих собой поздние дифференциаты

сложных многофазных плутонов. Формирование порфиrowых интрузивов, к которым приурочено порфиrowое оруденение, представляет одно из звеньев в длинной цепи магматических событий [21]. Вместе с близкими по возрасту эффузивами и фанеритовыми интрузивными породами порфиры входят в состав сложнопостроенных вулканоплутонических ассоциаций. При этом, по мнению И. Г. Павловой [17], образование крупных порфиrowых месторождений происходит только в тех случаях, когда их формирование было сложным, длительным и напряженным.

Карта закономерностей размещения золото-медно-порфиrowых месторождений России масштаба 1 : 2 500 000. Как показано на рис. 1, рассматриваемая карта подготовлена в форме ГИС-проекта, отдельные тематические «слои» которого фактически отражают закономерности распределения конкретных прогнозных критериев: геологических (магматических), тектонических, геофизических, космоструктурных, гидротермально-метасоматических, геохимических, минерагенических (рудноформационных) и т. д.

Легенда к карте состоит из двух блоков: геологического и собственно металлогенического.

Геологический блок легенды представлен условными обозначениями различных геологических подразделений, показанных на изданной в 2016 г. Геологической карте России и прилегающих акваторий м-ба 1 : 2 500 000 (сост. Стрельников С. И. и др., 2016). Границы геологических подразделений, которые не имеют существенного влияния на формирование и (или) размещение оруденения порфиrowого семейства, показываются черным цветом, а их внутреннее наполнение остается белым. Те же геологические подразделения, которые прямо или косвенно влияют на формирование и (или) размещение в геологическом пространстве порфиrowого оруденения, в легенде и на полотне карты обозначены цветом в соответствии с возрастом (стратифицированные толщи) или вещественным составом (магматические образования).

Геологические критерии. Разноранговые рудные объекты порфиrowого семейства отчетливо тяготеют к ВПП двух типов – базальтоидным, развивающимся в островодужном или рифтогенном режимах на базальтоидном раннеостроводужном субстрате, и окраинно-континентальным андезитоидным, становление которых в орогенно-активизационном режиме происходило на различном по составу и времени формирования фундаменте [12; 14].

Для *базальтоидных ВПП* продуктивными на медно-порфиrowое оруденение являются вулканоплутонические ассоциации, завершающие натровые серии базальтоидного магматизма и закономерно сменяющие во времени и по латерали однородные базальтовые и колчеданосные контрастные и непрерывные формации.

Для *андезитоидных ВПП* потенциально рудоносны (молибден-медно-порфиrowые

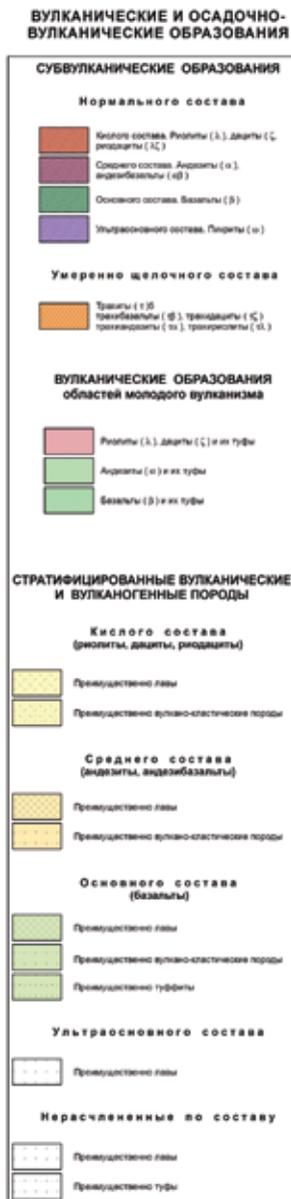


Рис. 5. Фрагмент легенды. Плутонические и гипабиссальные комплексы. Вулканические, осадочно-вулканические образования (далее на рис. 6–11 рассмотрены фрагменты легенды)

и монцит-граносиенитовая в возрастном интервале от неогена до венда — кембрия включительно (рис. 5).

Также цветом показаны контуры стратифицированных вулканических и вулканогенных пород основного, среднего и кислого составов, субвулканические образования нормального и умереннощелочного составов и вулканические образования областей молодого вулканизма.

Исходя из приведенных геологических критериев наиболее благоприятными обстановками локализации порфировых объектов являются зрелые энсиматические островные дуги, рифтогенные вулканические зоны активных окраин континентов. В связи с этим по одному из

критериев выделения площадей, перспективных для прогнозирования месторождений порфировых систем, были исключены плитные комплексы чехла древних платформ (Сибирской и Восточно-Европейской) и территория молодой — Западно-Сибирской плиты. Анализу подвергались лишь вулканоплутонические пояса, складчато-надвиговые системы и щиты древних платформ.

В разделе легенды «Тектонические критерии» плитный комплекс показан в цветовой гамме (рис. 6) и считается не перспективным на выявление месторождений порфирового семейства, в связи с чем он исключен из рассмотрения.

Оруденение порфирового типа тяготеет к зонам глубинных разломов на флангах региональных палеоподнятий, контролирующих ареалы распространения штокообразных интрузивных массивов. В более локальном плане характерно сочетание линейных и дуговых разрывных структур, контролирующих сближенные штокообразные интрузивы от кислого до субщелочного составов.

Гидротермально-метасоматические критерии.

При формировании порфировых месторождений существенную роль играли гидротермально-метасоматические процессы, приводящие к образованию различных типов окolorудных изменений, характеризующихся зональным распределением вокруг порфировых интрузивных массивов. Для анализа использовалась Карта гидротермально-метасоматических формаций России м-ба 1 : 2 500 000 (сост. Плющев Е. В. и др., 2014).

В региональном плане месторождения порфирового типа сопровождаются ареалами проявления плутоногенных гидротермально-метасоматических формаций — филлизитовой, гумбеито-березитовой и оксеталитовой — и вулканогенных — калишпатофировой, фельдшпатофировой и альбитофировой. В легенде к карте в блоке «Метасоматические критерии» эти формации показаны цветной штриховкой применительно к зонам, районам, узлам и площадям их распространения (рис. 7).

Геофизические критерии. Чрезвычайно важным для локализации площадей, перспективных на выявление золото-медно-порфирового оруденения, являются геофизические критерии (рис. 8). На карте выделены два типа площадей — благоприятные и неблагоприятные на выявление месторождений порфирового типа. К первым из них относятся площади, характеризующиеся дифференцированным, знакопеременным аномальным магнитным и гравиметрическим полями [3; 7; 11; 22; 28]. Для анализа использовалась Карта аномального магнитного поля (ΔT)_a России м-ба 1 : 2 500 000 (сост. Литвинова Т. П. и др., 2012) и материалы цифровой основы Гравиметрической карты России м-ба 1 : 2 500 000 (сост. Степанов П. П. и др., 1999).

Космоструктурные критерии. На рассматриваемой карте различными знаками показаны кольцевые и линейные структуры (рис. 9), поскольку в региональном плане порфировое оруденение

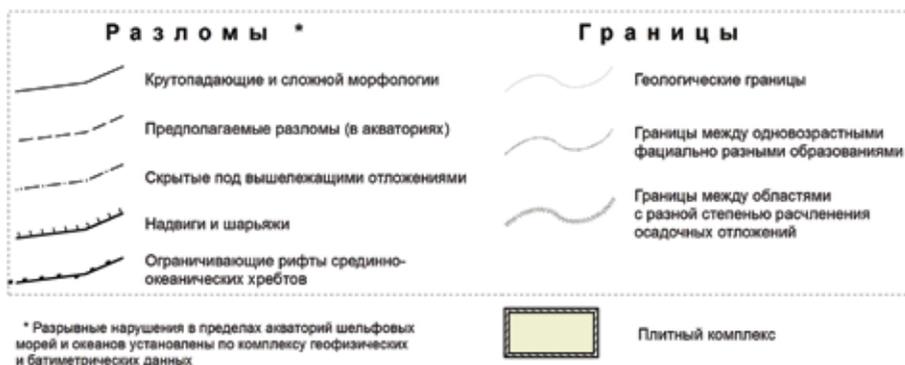


Рис. 6. Тектонические критерии

Рудоносные гидротермально-метасоматические формации

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ		ТИПЫ И ВИДЫ РУДОНОСНЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЙ	РАНГИ АРЕАЛОВ ГМФ			
			Области	Районы	Узлы	Площади
ПЛУТОНОГЕННЫЕ	МЕЗОЗОИЧНЫЕ	ОКС – оксепалитовый: оксепалитовая (нерасчлененная), березит-оксепалитовая, биотит-оксепалитовая, гумбит-оксепалитовая, лиственит-оксепалитовая, скарн-оксепалитовая, пропилит-оксепалитовая				
		ФИЛ – филлизитовый: филлизитовая (нерасчлененная), гумбит-филлизитовая				
		ГББ – гумбит-березитовый: гумбит-березитовая				
ВУЛКАНОГЕННЫЕ	КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ КРАТОНИЗАЦИОННЫЕ	КФ – калишпатофировый: калишпатофировая (нерасчлененная), калишпатофир-аргиллизитовая, калишпатофир-эйситовая, калишпатофир-березитовая				
		ФФ – фельдшпатофировый: фельдшпатофировая (нерасчлененная), фельдшпатофир-пропилитовая, фельдшпатофир-вторично-кварцевитовая, фельдшпатофир-березит-аргиллизитовая, фельдшпатофир-адуляритовая				
	ОКЕАНИЧЕСКИЕ РИФТОГЕННЫЕ	АФ – альбитофировый: альбитофировая (нерасчлененная), альбитофир-пропилит-березитовая, альбитофир-адуляритовая, альбитофир-березитовая, альбитофир-аргиллизитовая				

Рис. 7. Метасоматические критерии

Площади, благоприятные на выявление месторождений порфирового типа

Площади, неблагоприятные на выявление месторождений порфирового типа



Рис. 8. Геофизические критерии

тяготеет к куполовидным сводовым палеоподнятиям, дуговым и радиальным элементам кольцевых макроморфоструктур диаметром 1000 км и более, а также к участкам сопряжения региональных (глубинных) линейментных зон с морфоструктурами центрального типа, развитых в пределах вулканоплутонических поясов.

Геохронологические критерии. Возраст рудоносных магматических комплексов для различных регионов мира заметно отличается. Как было показано выше, наиболее широко они формировались на *кайнозойском*, *мезозойском* и *палеозойском* этапах развития планеты.

Геохимические критерии. В легенде к карте геохимические критерии отражены цветом границы геохимических таксонов в соответствии с их

специализацией (благородные, цветные и редкие металлы, а также их сочетание), благоприятные для выявления порфировых объектов (рис. 10).

В легенде, помимо охарактеризованных прогнозных критериев, показаны *условные обозначения металлогенических таксонов*, а именно: металлогенические зоны проявления месторождений порфирового семейства, рудные или потенциально рудные районы и узлы (рис. 11), а также ранг самих порфировых месторождений, проявления порфировой минерализации и их видовой состав (рис. 12).

Кроме того, на карте нашли отражение границы минерагенических провинций и зон, а также рудных и потенциально рудных районов и узлов, специализированных на рудные объекты

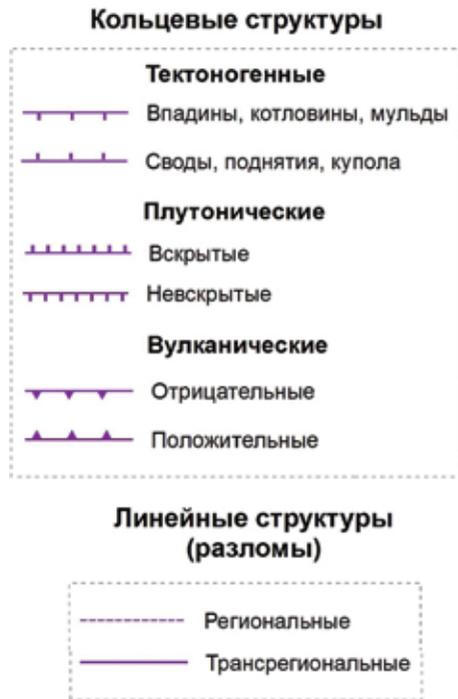


Рис. 9. Космоструктурные критерии

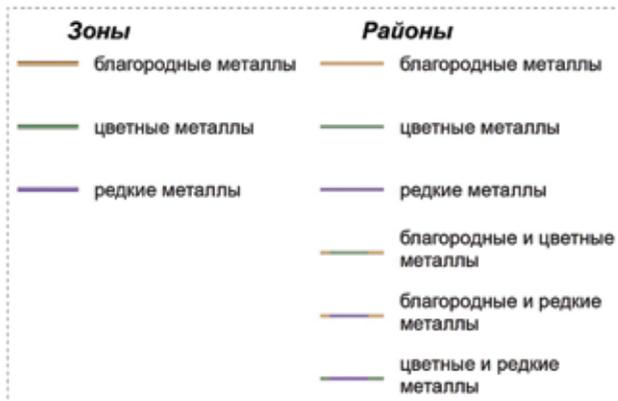
Геохимические таксоны и их специализация

Рис. 10. Геохимические критерии (по материалам ИМГРЭ)

порфиорового семейства (рис. 11). Все минерагенические подразделения на карте имеют свой индекс, по которому в атрибутивных таблицах ГИС-проекта можно найти их полную характеристику. На карте показаны также разноранговые месторождения и проявления минерализации, относимые к порфиоровому семейству (рис. 12).

В *металлогенический блок* добавлены обозначения *перспективных площадей* в ранге листов Госгеолкарты-200, требующих постановки ГДП-200/2 или прогнозно-металлогенических работ, нацеленных на локализацию площадей для постановки поисковых и поисково-оценочных работ на месторождения порфиорового семейства.

Вышеприведенные прогнозные критерии положены в основу структуры и состава

подготовленного в формате ArcGIS 10.2 ГИС-проекта *Карты закономерностей* (рис. 13).

На рис. 14–16 приведены фрагменты карты по отдельным минерагеническим провинциям, которые иллюстрируют характер проявления в их пределах различных прогнозных критериев.

Прогнозный анализ и рекомендации по постановке дальнейших работ, нацеленных на выявление рудных объектов порфиорового типа. При создании рассматриваемой карты авторами статьи использовались региональные пространственно-временные закономерности распределения оруденения золото-медно-порфиорового семейства по территории Российской Федерации и масштабность его проявления в разноранговых металлогенических подразделениях – провинциях, зонах, районах и узлах.

Наиболее ярко региональные прогнозные критерии, отраженные в легенде к карте, проявлены в пределах минерагенических провинций: Дальневосточного ФО (Верхояно-Колымская, Ляховско-Святоноская, Колымо-Омолонская, Охотско-Чукотская, Охотско-Корякская, Олюторско-Камчатская и Колымо-Чукотская, Алдано-Становая, Сихотэ-Алиньская), Сибирского ФО (Байкальская, Алтае-Саянская) и Уральского ФО (Уральская). При этом золото-медно-порфиоровое оруденение сосредоточено главным образом в пределах мезо-кайнозойских ВПП и контролируется депрессионными и купольными вулканоструктурами, в отдельных случаях – обособленными интрузивными и субвулканическими массивами мафическо-салического профиля. Медно-порфиоровый потенциал провинций определяется количеством принадлежащих им рудных узлов. По их числу лидируют активнеекранинные *Охотско-Чукотская* (рис. 14) и *Олюторско-Камчатская минерагенические провинции*. Наиболее ранняя рудоносность (PZ₂, J₃, K₁) свойственна *Колымо-Омолонской*, а наиболее молодая (P–Q) – *Олюторско-Камчатской провинциям*.

Так, на севере *Колымо-Омолонской провинции* находится уникальное медно-порфиоровое месторождение *Песчанка* (Чукотский АО), крупное по запасам меди, молибдена, золота и среднее по серебру с промышленными концентрациями в рудах платиноидов, свинца, цинка, серы и селена, которое является ведущим объектом Баймского рудного узла (рис. 15).

На территории узла известна также серия близких по формационной принадлежности перспективных проявлений меди, молибдена, золота и других полезных ископаемых. Сам рудный узел при дальнейшем изучении может войти в число мировых золотоносных медно-порфиоровых гигантов [13; 27].

В границах *Охотско-Чукотской провинции* известны только малые месторождения молибден-порфиоровое Осеннее и эпитермальное серебро-золоторудное Нявленга с адуляр-кварцевыми рудами, в том числе галенит-сфалерит-халькопиритового минерального типа, что позволяет

Металлогенические таксоны и их специализация

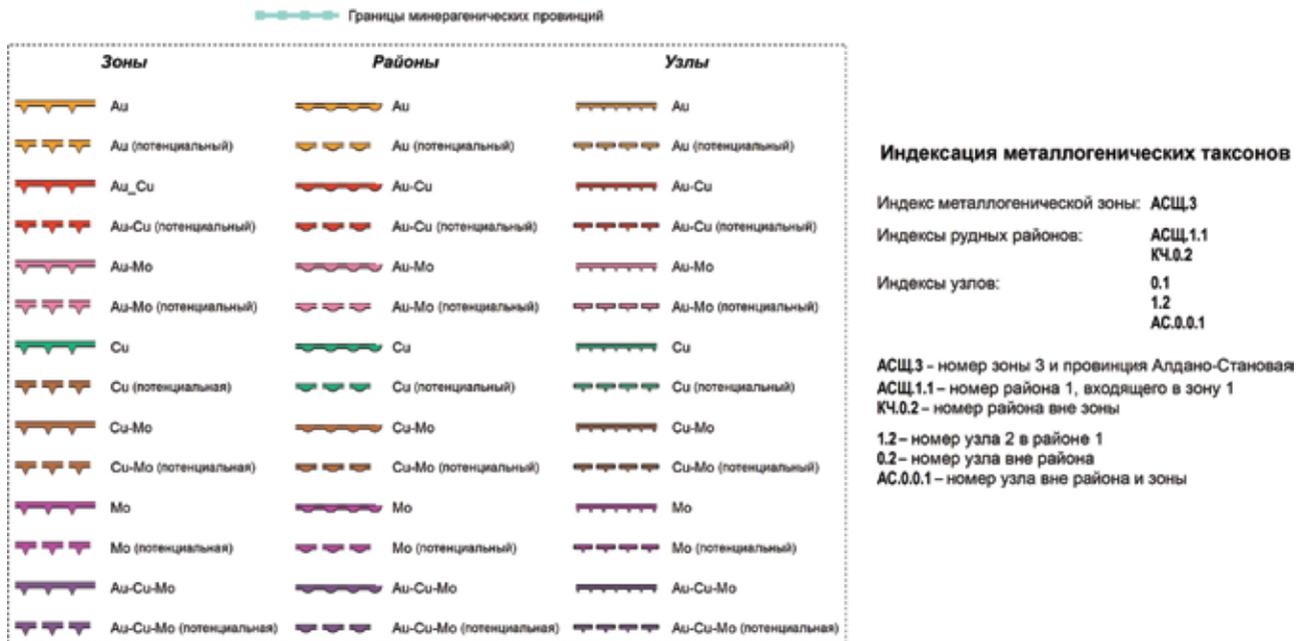


Рис. 11. Металлогеническое районирование

Золото-медно-порфировые месторождения

	Крупные	Средние	Малые	Проявления
Au		●	●	●
Au-Cu Cu-Au	●	●	●	●
Cu	●	●	●	●
Cu-Mo Mo-Cu	●	●	●	●
Mo-Cu-Au Au-Cu-Mo Cu-Mo-Au	●	●	●	●
Mo	●	●	●	●
Au-Mo Mo-Au	●			

Рис. 12. Ранг рудных объектов порфирового семейства, отраженных на Карте закономерностей

предполагать наличие здесь и медно-порфировой минерализации. В связи с этим особое внимание заслуживает месторождение Кумроч (среднее по золоту и малое по серебру) *Олюторско-Камчатской провинции* с телескопированным оруденением – медно-порфировым на глубине и эпитегрмальным серебро-золоторудным у поверхности. На остальной части провинции известны медно-, молибден-, золото-медно- и медно-молибден-порфировые проявления и пункты минерализации, относящиеся к медно-порфировому семейству по [12], а также индикаторные шлиховые и литогеохимические аномалии.

На территории Дальневосточного ФО силами сотрудников Рассошинского отряда (нач. А. В. Рогов, отв. исп. С. Н. Сычёв) отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ВСЕГЕИ при выполнении в 2017 г. работ по оценке геолого-геофизической изученности листа Q-55-XXIX, XXX был выделен Урадан-Рассошинский потенциальный медно-молибден-золоторудный узел, а в гранитоидах Рассошинского массива (J₃) – молибден-порфиоровое рудопроявление с обильной молибденовой минерализацией (см. рис. 2) и видимым золотом. В рамках узла локализована площадь Рассошинская, перспективная на обнаружение в ее пределах золото-молибден-порфиорового месторождения. В 2019 г. при наземной заверке АГСМ-аномалий силами сотрудников Норильского филиала ВСЕГЕИ (А. Н. Онищенко, А. В. Полтавцев, П. В. Мельников и др.) перспективная площадь была существенно увеличена.

К северу от Рассошинского массива в перекрывающей его вулканогенно-терригенной толще обнаружены многочисленные проявления обильной медной рудной минерализации (см. рис. 3), геохимические аномалии золота и полиметаллов, а также ореолы масштабного проявления процессов окварцевания, пропицитизации, эпидотизации и сульфидизации. В интенсивно измененных породах диагностируются пирит, арсенопирит, халькопирит, борнит, ковеллин, галенит, сфалерит, а также малахит и азурит. Прогнозные ресурсы кат. Р₃ для Рассошинской площади составили: Mo – 330 тыс. т (по эталону Бугдаинского рудного поля); Cu – 2,5 млн т (по эталону Баимского рудного поля) и Au – 175 т (по эталону Баимского рудного поля или рудопроявления Лора).

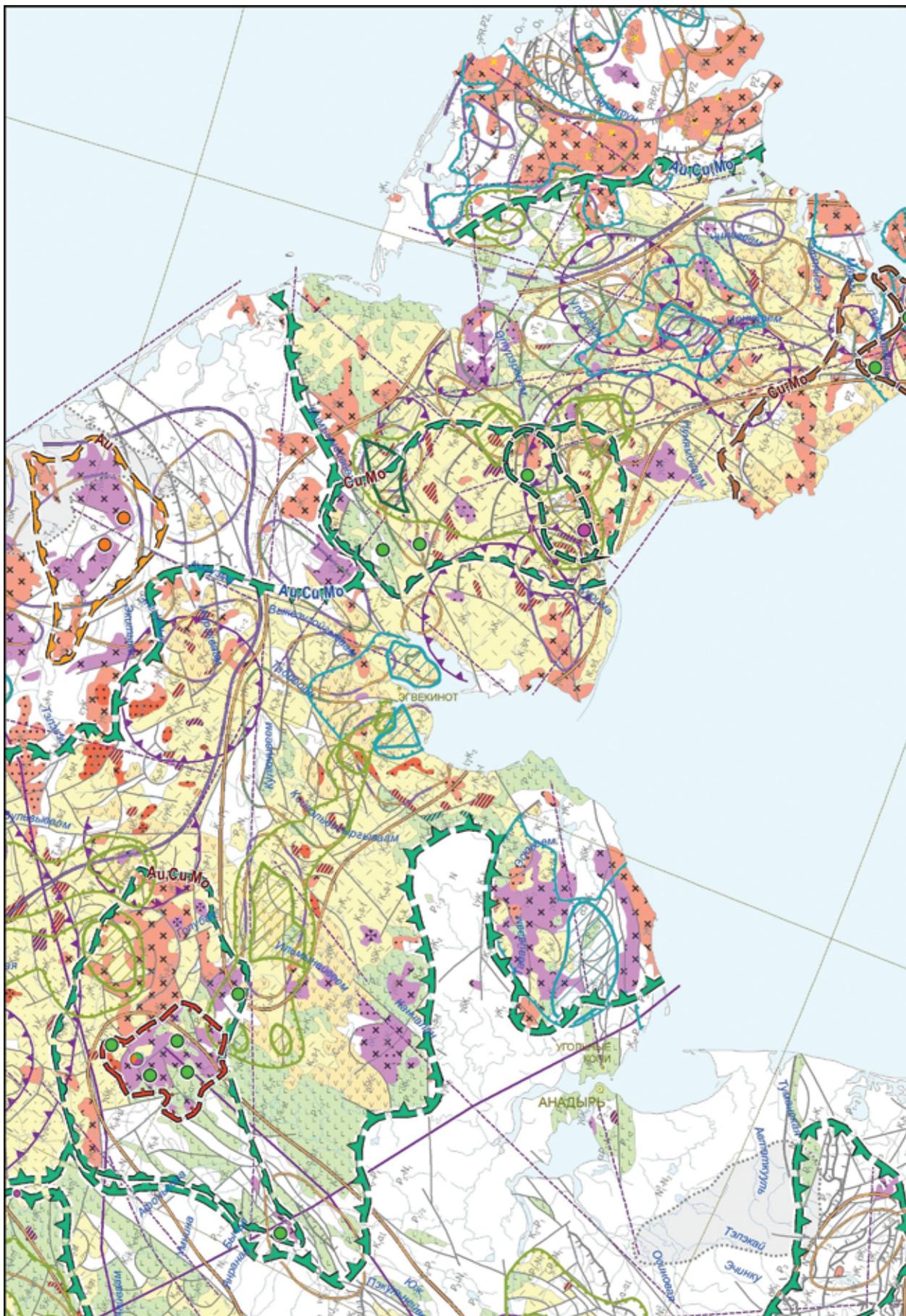


Рис. 14. Фрагмент макета Карты закономерностей: Чаун-Чукотская металлогеническая (потенциальная) зона (далее на рис. 14–16 рассмотрены фрагменты макета)

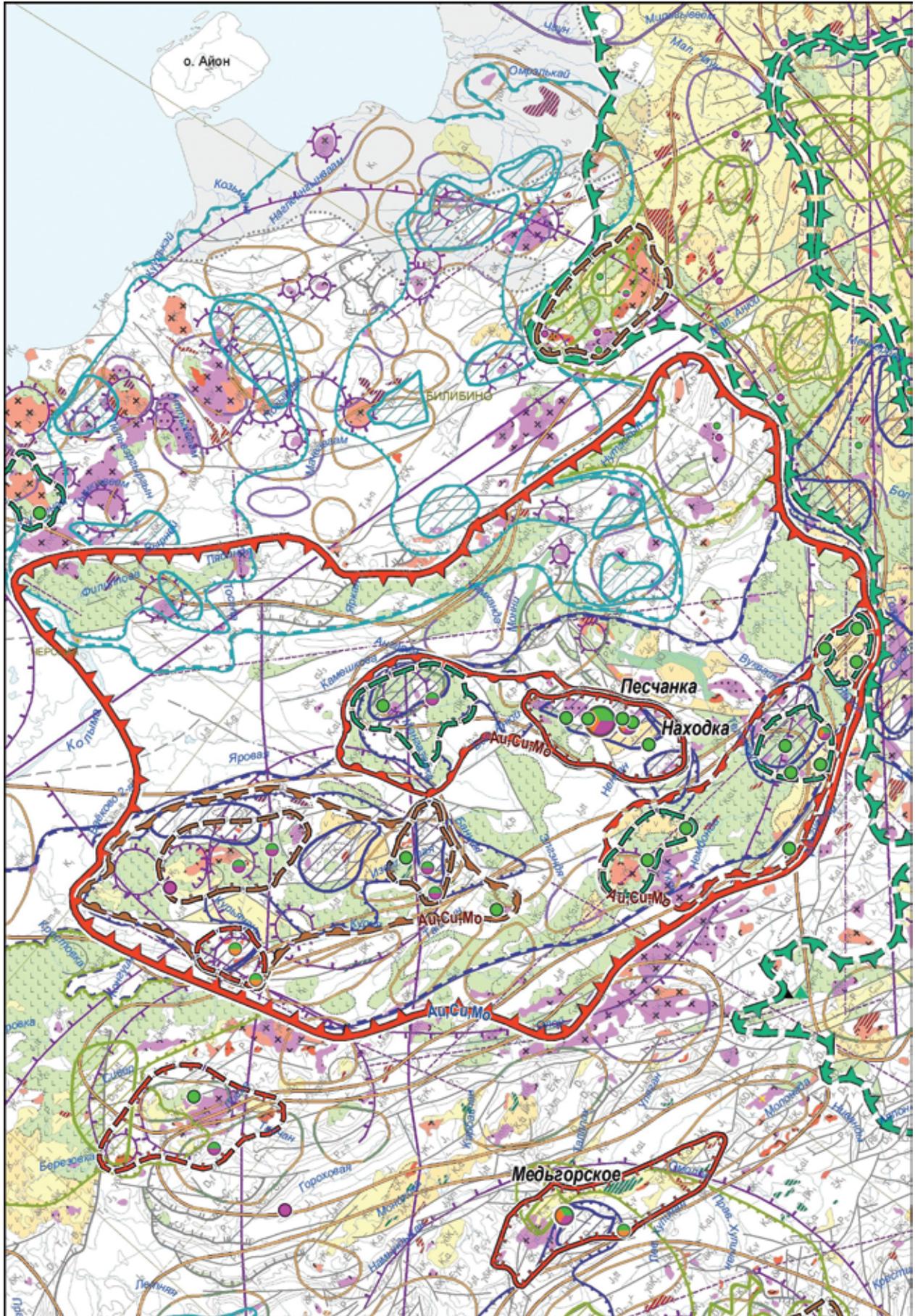


Рис. 15. Олойская металлогеническая зона

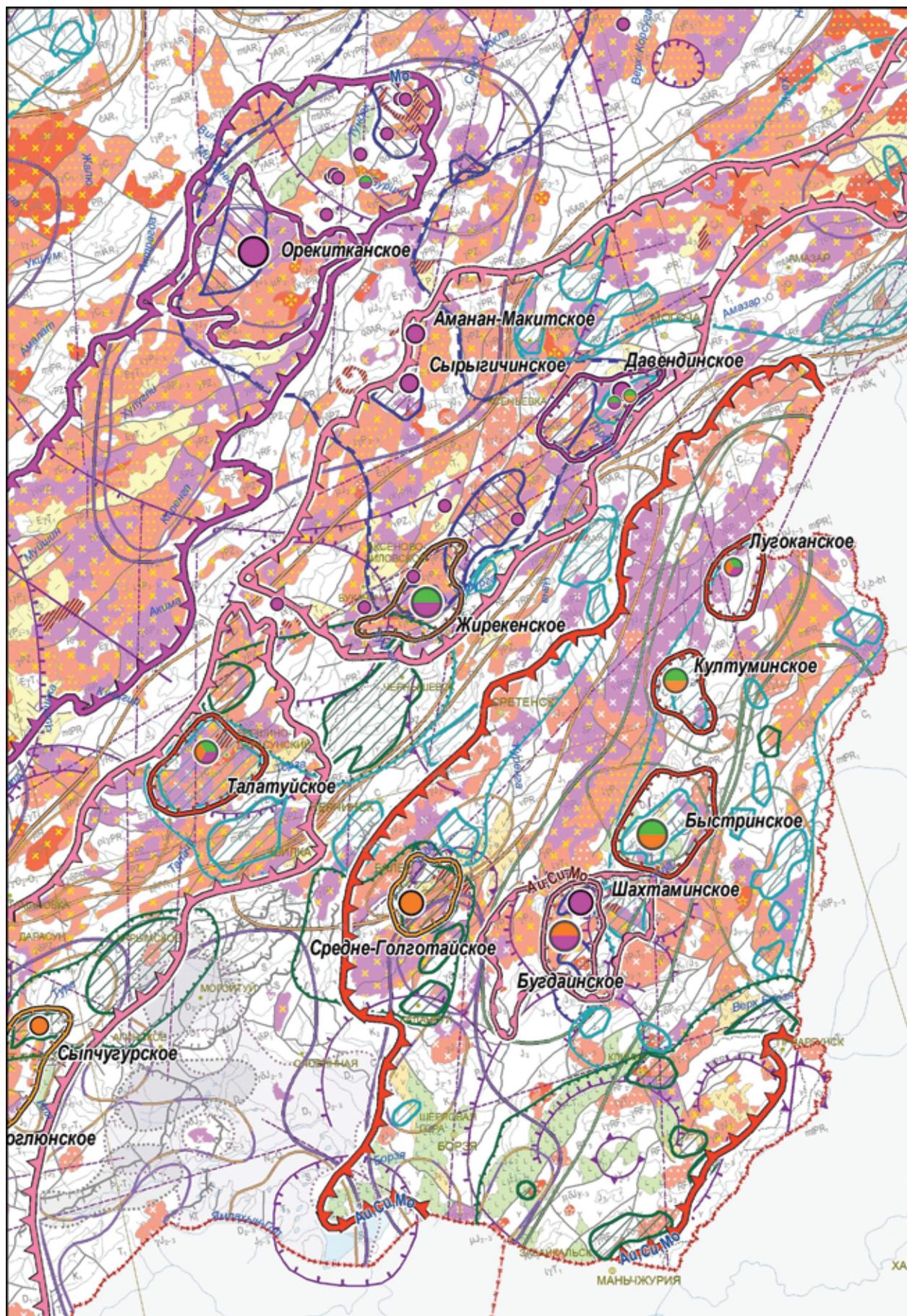


Рис. 16. Еравнинско-Тунгокоченская, Дарасун-Могочинская и Приаргунская металлогенические зоны

Общее количество номенклатурных листов масштаба 1 : 200 000 на постановку ГДП-200/2 по конкретным федеральным округам Российской Федерации как наиболее благоприятным для локализации месторождений порфирирового семейства

Федеральный округ	Без учета ООПТ и изученности	С учетом ООПТ и изученности	Перспективные участки	
			1-й очереди	2-й очереди
Дальневосточный				
без Республики Саха (Якутия)	279	179	50	129
Республика Саха (Якутия)	46	32	9	23
Крымский	0	0	0	0
Приволжский	7	0	0	0
Северо-Западный	1	0	0	0
Северо-Кавказский	0	0	0	0
Сибирский	102	44	23	0
Уральский	28	1	1	21
Центральный	0	0	0	0
Южный	0	0	0	0
В целом по России	463	256	83	173

По совокупности структурно-геологических, магматических, геохимических и геофизических признаков Рассошинская перспективная площадь напоминает обстановку территории, в пределах которой располагается уникальное по запасам золота, меди и молибдена месторождение Пейбл на Аляске.

В границах Алдано-Становой минерагенической провинции чрезвычайно высоко перспективен на выявление месторождений порфирирового семейства Ломамский потенциально рудный район, на территории которого сотрудниками ОМГПИ ВСЕГЕИ локализованы Билибинский и Сеймджакский потенциально рудные узлы с обильной молибденовой, золотой и медной минерализацией порфирирового типа [15]. Здесь рекомендуется проведение крупномасштабных прогнозно-металлогенических или поисковых работ.

Высокими перспективами на выявление золото-медно-порфирировых месторождений в зоне Алдано-Становой провинции обладает также Центрально-Алданский рудный (Лебединский рудный узел) и Верхне-Амгинский потенциально рудный районы, а также Нингамский потенциально рудный узел. Кроме того, для локализации площадей, перспективных на выявление месторождений порфирирового семейства, следует провести прогнозно-металлогенические исследования в Становом блоке Алдано-Становой минерагенической провинции.

Выводы. На рассматриваемой Карте закономерностей показано положение 297 рудных и потенциально рудных узлов, в том числе 205 по территории Дальневосточного ФО, выделенных по результатам ГРР и в разной степени перспективных на оруденение порфирирового типа.

По многим из этих рудных объектов утверждены прогнозные ресурсы золота, меди и молибдена категорий P_1 и P_2 , а по узлам в целом – кат. P_3 .

Некоторые узлы локализованы по совокупности территориально сближенных пунктов минерализации, шлиховых, металлометрических ореолов меди и молибдена. Названия и контуры большинства узлов перенесены с изданных или переданных в издание листов ГК-1000/3. Контуры некоторых из них скорректированы с учетом геологической ситуации, как правило, в сторону их расширения. Например, по границам рудноносных интрузивов или субвулканов, а также за счет вовлечения соседствующих магматических тел, близких по составу и возрасту телам с установленной рудоносностью.

На некоторых рудных узлах наряду с медно-порфирировым оруденением установлено скарновое медно-молибденовое, грейзеновое молибденовое, эпитемальное золото-серебряное, жильное золото-кварцевое, золото-редкометалльное и другое эндогенное оруденение, представленное в основном проявлениями, а в отдельных случаях и месторождениями. Предполагаемая общность рудогенерирующих и рудо локализирующих обстановок по отношению к разным полезным ископаемым и их формационным типам становится косвенным аргументом для позитивной переоценки перспектив потенциальных рудных объектов на медно-порфирировое оруденение и, соответственно, обоснованием для последующей заверки рекомендаций с применением горно-буровых работ.

Анализ составленной Карты закономерностей позволил авторам наметить листы м-ба 1 : 200 000 для постановки ГДП-200/2 и (или) прогнозно-металлогенических работ как наиболее благоприятные для прогнозирования порфирировых месторождений.

Общее количество листов по конкретным федеральным округам Российской Федерации приведено в таблице с учетом тех, в пределах которых уже проведено ГДП-200/2, а также входящих в состав особо охраняемых парков и территорий (ООПТ).

1. Бескин С. М., Ларин В. Н., Марин Ю. Б. Редко-металльные гранитовые формации. — Л.: Недра, 1979. — 280 с.
2. Бескин С. М. Металлогеническое районирование областей гранитоидного плутонизма. — М.: ИМГРЭ, 2007. — 108 с.
3. Бескин С. М., Алексеева А. К. Медно-порфировое оруднение России: перспективные регионы и площади. — М.: Научный мир, 2016. — 78 с.
4. Грабежев А. И., Белгородский Е. А. Продуктивные гранитоиды и метасоматиты медно-порфировых месторождений (на примере Урала). — Екатеринбург: Наука, 1992. — 199 с.
5. Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В. Прогнозно-поисковые модели комплексных рудномагматических систем вулканоплутонических поясов Востока России // Отечественная геология. — 2011. — № 3. — С. 13–21.
6. Звездов В. С. Обстановки формирования и критерии прогноза крупных и сверхкрупных медно-порфировых месторождений // Геология и охрана недр. — 2019. — № 4 (73). — С. 4–19.
7. Кигаи И. Н. Редокс-проблемы «металлогенической специализации» магматитов и гидротермального рудообразования // Петрология. — 2011. — № 3. — С. 316–334.
8. Кривцов А. И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. — М.: Недра, 1983. — 256 с.
9. Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Попов В. С. Медно-порфировые месторождения мира. — М.: Недра, 1986. — 236 с.
10. Крупные медно-порфировые рудно-магматические системы и их геотектоническая позиция / О. В. Минина [и др.] // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений металлических полезных ископаемых. — 1991. — С. 1–55. — (Обзор ВИЭМС; вып. 6).
11. Лишневецкий Э. Н., Бескин С. М. Аномальное магнитное поле как фактор металлогенического районирования областей гранитоидного магматизма // Бюлл. МОИП. Отд. геол. — 1994. — Т. 69, вып. 5. — С. 47–58.
12. Меднопорфировые месторождения / А. И. Кривцов, В. С. Звездов, И. Ф. Мигачев, О. В. Минина. — М.: ЦНИГРИ, 2001. — 232 с.
13. Мигачев И. Ф., Гирфанов М. М., Шишаков В. Б. Медно-порфировое месторождение Песчанка // Руды и металлы. — 1995. — № 3. — С. 48–58.
14. Мигачев И. Ф., Минина О. В., Звездов В. С. Перспективы территории Российской Федерации на медно-порфировые руды // Руды и металлы. — 2015. — № 1. — С. 74–92.
15. Молчанов А. В. Золоторудные районы и узлы Алдано-Становой металлогенической провинции / А. В. Молчанов, А. В. Терехов, В. В. Шатов, О. В. Петров, К. А. Кукушкин, Д. С. Козлов, Н. В. Шатова // Региональная геология и металлогения. — 2017. — № 71. — С. 93–111.
16. Молчанов А. В. Отдел металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ВСЕГЕИ — прошлое и настоящее (к 65-летию отдела) / А. В. Молчанов, Л. И. Гурская, С. В. Кашин, Н. С. Соловьёв, А. В. Терехов, В. А. Шамахов // Региональная геология и металлогения. — 2019. — № 80. — С. 97–107.
17. Павлова И. Г. Медно-порфировые месторождения. — Л.: Недра, 1978. — 275 с.
18. Петров О. В. Государственное геологическое картографирование — эффективный путь к открытию месторождений-лидеров / О. В. Петров, Е. А. Киселёв, А. Ф. Морозов, В. И. Шпикерман, Т. Н. Зубова, В. В. Шатов, Ю. П. Змиевский // Региональная геология и металлогения. — 2015. — № 64. — С. 5–10.
19. Петров О. В. Прогноз размещения месторождений золото-медно-порфирового типа в вулканоплутонических поясах восточных районов России по результатам работ составления листов Госгеолкарты-1000/3 / О. В. Петров, Е. А. Киселёв, В. И. Шпикерман, Ю. П. Змиевский // Региональная геология и металлогения. — 2019. — № 80. — С. 50–74.
20. Плющев Е. В., Шатов В. В., Кашин С. В. Металлогения гидротермально-метасоматических образований. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2012. — 560 с. — (Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер.; т. 354).
21. Попов В. С. Геология и генезис медно- и молибден-порфировых месторождений. — М.: Наука, 1977. — 201 с.
22. Попов В. С. Оловорудные и молибденовые провинции и причины их пространственного обособления // Записки Всесоюзного минералогического общества. — 1984. — Вып. 1. — С. 3–14.
23. Ханчук А. И. Палеогеодинамический анализ формирования рудных месторождений Дальнего Востока России // Рудные месторождения континентальных окраин. — Владивосток: Дальнаука, 2000. — С. 5–34.
24. Ханчук А. И., Гребенников А. В., Иванов В. В. Альб-сеноманский окраинно-континентальный орогенный пояс и магматическая провинция Тихоокеанской Азии // Тихоокеанская геология. — 2019. — Т. 38, № 3. — С. 4–37.
25. Ханчук А. И. Альб-сеноманский магматизм и медный рудогенез Сихотэ-Алиня / А. И. Ханчук, В. В. Иванов, Е. К. Игнатъев, С. В. Коваленко, Д. В. Семёнова // Докл. РАН. — 2019. — Т. 488, № 3. — С. 69–73.
26. Читалин А. Ф. Малмыж — новая крупная золото-медно-порфировая система мирового класса на Сихотэ-Алине / А. Ф. Читалин, А. А. Ефимов, К. И. Воскресенский, Е. К. Игнатъев, А. Г. Колесников // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2013. — № 3. — С. 65–69.
27. Читалин А. Ф. Порфирово-эпитермальные системы Баймской рудной зоны, Западная Чукотка / А. Ф. Читалин, Ю. Н. Николаев, И. А. Бакшеев, В. Ю. Прокофьев, Е. В. Фомичев, В. В. Усенко, Е. В. Нагорная, Л. И. Марушенко, Ю. Н. Сидорина, Г. Т. Дждежа // Смирновский сборник — 2016. Ч. I: Проблемы минерации, экономической геологии и прогноза месторождений. — М.: МАКС Пресс. — 2016. — С. 82–114.
28. Шашорин Б. Н. Геолого-геофизическая модель Малмыжской рудно-магматической системы и возможности ее использования в прогнозировании (Северный Сихотэ-Алинь) / Б. Н. Шашорин, Ф. И. Макаров, В. В. Руднев, Д. Е. Выдрич // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 2. — С. 9–16.
29. Oliver J. R., Roberts K. Geology and magmatic-hydrothermal evolution of the giant Pebble porphyry copper-gold-molybdenum deposit, Southwest Alaska // Economic Geology. — 2013. — Vol. 108. — Pp. 437–462.
30. John D. A. Porphyry copper deposit model / D. A. John, R. A. Ayuso, M. D. Barton, R. J. Blakely, R. J. Bodnar, J. H. Dilles, F. Gray et al. // Scientific Investigations Report 2010-5070-B, U.S. Geological Survey. — Reston, Virginia. — 2010. — 169 p.
31. Lowell J. D., Guilbert J. M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits // Economic Geology. — 1970. — Vol. 65, no. 4. — Pp. 373–408.
32. Müller D., Groves D. I. Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization. — Springer. — 2016. — 311 p. — DOI: 10.1007/978-3-319-23051-1
33. Rio Tinto: Annual Report. — 2008. — 180 p.
34. Rogerson R., McKee C. Geology, volcanism and mineral deposits of Papua New Guinea // Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea / F. E. Hughes

(ed.). – Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph 14. – 1990. – Pp. 1689–1701.

35. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems // *Economic Geology*. – 2010. – Vol. 105. – Pp. 3–45.

36. Sinclair W. D. Porphyry deposits // *Mineral deposits of Canada: Geological Association of Canada Special Publication 5*. – 2007. – Pp. 223–243.

37. Singer D. A., Berger V. I., Moring B. C. Porphyry copper deposits of the world: database and tonnage models // U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1155. Online version. – 2008.

38. Soloviev S. G. The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics / S. G. Soloviev, S. G. Kryazhev, S. S. Dvurechinskaya, V. E. Vasyukov, D. A. Shumilin, K. I. Voskresensky // *Ore Geology Reviews*. – 2019. – Vol. 113. – Pp. 1–27.

1. Beskin S. M., Larin V. N., Marin Yu. B. Redkometall'nye granitovye formatsii [Rare metal granitic formations]. Leningrad, Nedra, 1979, 280 p.

2. Beskin S. M. Metallogenicheskoe rayonirovanie oblastey granitoidnogo plutonizma [Metallogenic zoning of granitoid magmatism areas]. Moscow, IMGRE, 2007, 108 p.

3. Beskin S. M., Alexeeva A. K. Medno-porfirovye orudnenie Rossii: perspektivnye regiony i ploschadi [Copper-porphyry deposits of Russia: Perspective regions and prospecting areas]. Moscow, Nauchny mir, 2016, 78 p.

4. Grabezhev A. I., Belgorodsky E. A. Produktivnye granitoidy i metasomatity medno-porfirovykh mestorozhdeniy (na primere Urala) [Fertile granitoids and metasomatites of copper-porphyry deposits (the Urals as an example)]. Yekaterinburg, Nauka, 1992, 199 p.

5. Zvezdov V. S., Migachev I. F., Minina O. V. The prediction-prospecting models of complex ore-magmatic systems of Russian Eastern Volcanic-Plutonic Belts. *National Geology*, 2011, no. 3, pp. 13–21. (In Russian).

6. Zvezdov V. S. Formational environments and forecast criteria for large and giant porphyry copper deposit. *Prospect and Protection of Mineral Resources*, 2019, no. 4 (73), pp. 4–19. (In Russian).

7. Kigay I. N. Redoks-problemy «metallogenicheskoy spetsializatsii» magmatitov i gidrotermal'nogo rudoobrazovaniya [Redox-problems of “metallogenic specialization” of magmatic rocks and hydrothermal ore-forming systems]. *Petrology*, 2011, no. 3, pp. 316–334. (In Russian).

8. Krivtsov A. I. Geologicheskie osnovy prognozirovaniya i poiskov medno-porfirovykh mestorozhdeniy [Geological grounds of forecasting and prospecting of copper-porphyry deposits]. Moscow, Nedra, 1983, 256 p.

9. Krivtsov A. I., Migachev I. F., Popov V. S. Medno-porfirovye mestorozhdeniya mira [Copper-porphyry deposits of the world]. Moscow, Nedra, 1986, 236 p.

10. Minina O. V., Zvezdov V. S., Migachev I. F., Girfanov M. M. Krupnye medno-porfirovye rudno-magmaticheskie sistemy i ikh geotektonicheskaya pozitsiya [Large copper-porphyry ore-forming magmatic systems and their geodynamics setting]. *Geologiya, metody poiskov, razvedki i otsenki mestorozhdeniy metallicheskih poleznykh iskopaemykh*. Moscow, 1991, pp. 1–55. (In Russian).

11. Lishnevsky E. N., Beskin S. M. Anomal'noe magnitnoe pole kak faktor metallogenicheskogo rayonirovaniya oblastey granitoidnogo magmatizma [Anomalous magnetic field as a base of metallogenic analysis of granitic magmatism areas]. *Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel geologicheskiiy*, 1994, no. 5, pp. 47–58. (In Russian).

12. Krivtsov A. I., Zvezdov V. S., Migachev I. F., Minina O. V. Mednoporfirovye mestorozhdeniya [Copper-porphyry deposits]. Moscow, TSNIGRI, 2010, 232 p.

13. Migachev I. F., Girfanov M. M., Shishakov V. B. The Peschanka copper porphyry deposit. *Ores and Metals*, 1995, no. 3, pp. 48–58. (In Russian).

14. Migachev I. F., Minina O. V., Zvezdov V. S. Perspektivy territorii Rossiyskoy Federatsii na medno-porfirovye rudy [Perspectives of the Russian Federation territory for copper-porphyry ores]. *Ores and metals*, 2015, no. 1, pp. 74–92. (In Russian).

15. Molchanov A. V., Terekhov A. V., Shatov V. V., Petrov O. V., Kukushkin K. A., Kozlov D. S., Shatova N. V. Gold ore districts and ore clusters of the Aldanian metallogenic province. *Regional Geology and Metallogeny*, 2017, no. 71, pp. 93–111. (In Russian).

16. Molchanov A. V., Gurskaya L. I., Kashin S. V., Solov'ev N. S., Terekhov A. V., Shamakhov V. A. Department of metallogeny and geology of mineral deposits, VSEGEI, – past and present (65th anniversary of the department). *Regional Geology and Metallogeny*, 2019, no. 80, pp. 97–107. (In Russian).

17. Pavlova I. G. Medno-porfirovye mestorozhdeniya [Copper-porphyry deposits]. Leningrad, Nedra, 1978, 275 p.

18. Petrov O. V., Kiselev E. A., Morozov A. F., Shpikerman V. I., Zubova T. N., Shatov V. V., Zmievskiy Yu. P. State geological mapping, an effective way to discovery of giant deposits. *Regional Geology and Metallogeny*, 2015, no. 64, pp. 5–10. (In Russian).

19. Petrov O. V., Kiselev E. A., Shpikerman V. I., Zmievskiy Yu. P. Anticipating the distribution of gold-copper-porphyry-type deposits in volcanic-plutonic belts of Russia's eastern regions based on results of compiling sheets of the State Geological Map-1000/3. *Regional Geology and Metallogeny*, 2019, no. 80, pp. 50–74. (In Russian).

20. Plyushchev E. V., Shatov V. V., Kashin S. V. Metallogeniya gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovaniy [Metallogeny of hydrothermal-metasomatic alterations]. St. Petersburg, VSEGEI Press, 2012. 559 p.

21. Popov V. S. Geologiya i genezis medno- i molibden-porfirovykh mestorozhdeniy [Geology and genesis of copper- and molybdenum-porphyry deposits]. Moscow, Nauka, 1977, 201 p.

22. Popov V. S. Olovorudnye i molibdenovye provintsii i prichiny ikh prostranstvennogo obosobleniy [Tin and molybdenum ore provinces and reasons of their spatial isolating]. *Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva*, 1984, no. 1, pp. 13–24. (In Russian).

23. Khanchuk A. I. Paleogeodynamic analysis of ore deposit formation in the Russian Far East. *Rudnye mestorozhdeniya kontinental'nykh okrain*. Vladivostok, Dal'nauka, 2000, pp. 5–34. (In Russian).

24. Khanchuk A. I., Grebennikov A. V., Ivanov V. V. Albian-Cenomanian orogenic belt and igneous province of the Pacific Asia. *Russian Journal of Pacific Geology*. 2019, vol. 38, no. 3, pp. 4–37. (In Russian).

25. Khanchuk A. I., Ivanov V. V., Ignatiev E. K., Kovalenko S. V., Semenova D. V. Albian-cenomanian granitoid magmatism and copper ore genesis in Sikhote-Alin (Far East, Russia). *Doklady Earth Sciences*, 2019, vol. 488, no. 3, pp. 69–73. (In Russian).

26. Chitalin A. F., Yefimov A. A., Voskresensky K. I., Ignatiev Y. K., Kolesnikov A. G. Malmyzh – a new large world-class porphyry copper-gold system in Sikhote-Alin. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*, 2013, no. 3, pp. 65–69. (In Russian).

27. Chitalin A. F., Nikolaev Yu. N., Baksheev I. A., Prokofiev V. Yu., Fomichev E. V., Usenko V. V., Nagornaya E. V., Marushchenko L. I., Sidorina Yu. N., Dzhezdzheya G. T. Porfirovo-epitermal'nye sistemy Baimskoy rudnoy zony, Zapadnaya Chukotka [Porphyry-epithermal systems of the Baimskaya ore

zone, Western Chukotka]. *Smirnovskiy sbornik*, 2016, iss. I, pp. 82–114. (In Russian).

28. Shashorin B. N., Makarov F. I., Rudnev V. V., Vydrih D. E. Geological-geophysical model Malmyzhskiy ore-magmatic system and the possibility of its use in forecasting (the Northern Sikhote-Alin). *Prospect and Protection of Mineral Resources*, 2018, no. 2, pp. 9–16. (In Russian).

29. Oliver J. R., Roberts K. Geology and magmatic-hydrothermal evolution of the giant Pebble porphyry copper-gold-molybdenum deposit, Southwest Alaska. *Economic Geology*, 2013, vol. 108, pp. 437–462.

30. John D. A., Ayuso R. A., Barton M. D., Blakely R. J., Bodnar R. J., Dilles J. H., Gray F. et al. Porphyry copper deposit model. *Scientific Investigations Report 2010-5070-B*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2010, 169 p.

31. Lowell J. D., Guilbert J. M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Economic Geology*, 1970, vol. 65, no. 4, pp. 373–408.

32. Muller D., Groves D. I. *Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization*. Springer, the 4th Edition, 2016, 311 p.

33. Rio Tinto: Annual Report, 2008, 180 p.

34. Rogerson R., McKee C. Geology, volcanism and mineral deposits of Papua New Guinea. In F. E. Hughes (ed.): *Geology of the mineral deposits of Australia and Papua New Guinea*. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph 14, 1990, pp. 1689–1701.

35. Sillitoe R. H. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 2010, vol. 105, pp. 3–45.

36. Sinclair W. D. Porphyry deposits. *Mineral deposits of Canada: Geological Association of Canada Special Publication 5*, 2007, pp. 223–243.

37. Singer D. A., Berger V. I., Moring B. C. Porphyry copper deposits of the world: database and tonnage models. *U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1155. Online version*, 2008.

38. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechinskaya S. S., Vasyukov V. E., Shumilin D. A., Voskresensky K. I. The super-large Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics. *Ore Geology Reviews*, 2019, vol. 113, pp. 1–27.

Петров Олег Владимирович – чл.-корр. РАН, доктор геол.-минерал. наук, доктор экон. наук, ген. директор, ВСЕГЕИ¹. <vsegei@vsegei.ru>

Киселёв Евгений Аркадьевич – зам. министра природных ресурсов и экологии Российской Федерации, руководитель, Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра). Большая Грузинская ул., 4/6, стр. 1, Москва, 125993, Россия.

Молчанов Анатолий Васильевич – доктор геол.-минерал. наук, директор, Центр прогнозно-металлогенических исследований ВСЕГЕИ¹. <anatoly_molchanov@vsegei.ru>

Шатов Виталий Витальевич – канд. геол.-минерал. наук, вед. специалист, ВСЕГЕИ¹. <vitally_shatov@vsegei.ru>

Зубова Татьяна Николаевна – зам. ген. директора, ВСЕГЕИ¹. <tatiyana_zubova@vsegei.ru>

Терехов Артем Валерьевич – канд. геол.-минерал. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ¹. <artem_terekhov@vsegei.ru>

Белова Валентина Николаевна – ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <valentina_belova@vsegei.ru>

Кашин Сергей Васильевич – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <sergey_kashin@vsegei.ru>

Семёнова Валентина Васильевна – вед. инженер, ВСЕГЕИ¹. <valentina_semenova@vsegei.ru>

Соболев Александр Евгеньевич – канд. геол.-минерал. наук, вед. специалист, ВСЕГЕИ¹.

Соловьёв Николай Сергеевич – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹. <nikolay_soloviev@vsegei.ru>

Шамахов Владимир Алексеевич – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ¹.

Petrov Oleg Vladimirovich – Corresponding Member of RAS, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Doctor Economic Sciences, Director General, VSEGEI¹. <vsegei@vsegei.ru>

Kiselev Evgeniy Arkad'evich – Deputy Minister of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, Head, Federal Agency of Mineral Resources (Rosnedra). 4/6 Bol'shaya Gruzinskaya, str. 1, Moscow, 125993, Russia.

Molchanov Anatoly Vasilievich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Director, Centre of Predictive Metallogenic Studies of VSEGEI¹. <anatoly_molchanov@vsegei.ru>

Shatov Vitaly Vitalievich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Geologist, VSEGEI¹. <vitally_shatov@vsegei.ru>

Zubova Tat'yana Nikolaevna – Deputy General Director, VSEGEI¹. <tatiyana_zubova@vsegei.ru>

Terekhov Artem Valer'evich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Department, VSEGEI¹. <artem_terekhov@vsegei.ru>

Belova Valentina Nikolaevna – Senior Researcher, VSEGEI¹. <valentina_belova@vsegei.ru>

Kashin Sergey Vasil'evich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI¹. <sergey_kashin@vsegei.ru>

Semenova Valentina Vasil'evna – Leading Engineer, VSEGEI¹. <valentina_semenova@vsegei.ru>

Sobolev Alexander Evgenievich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Expert, VSEGEI¹.

Solov'ev Nikolay Sergeevich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI¹. <nikolay_soloviev@vsegei.ru>

Shamakhov Vladimir Alexeevich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI¹.

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.