

РОЛЬ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОГНОЗЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ. ОТ МОДЕЛЕЙ К ОБЪЕКТАМ

© 2023 г. Н. А. Горячев^{a,b,*}, В. Ю. Фридовский^{c,**}, А. Е. Будяк^{b,***}, И. Н. Горячев^{d,****}, С. В. Ефремов^{b,*****}, М. В. Кудрин^{c,*****}, Ю. И. Тарасова^{b,*****}

^aСеверо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, Магадан, Россия

^bИнститут геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Россия

^cИнститут геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, Россия

^dСибирская школа геонаук Иркутского национального исследовательского технического университета, Иркутск, Россия

*E-mail: goryachev@neisri.ru

**E-mail: fridovsky@diamond.ysn.ru

***E-mail: budyak@igc.irk.ru

****E-mail: ivan.goryachev@geo.istu.edu

*****E-mail: esv@mail.ru

*****E-mail: kudrinmv@mail.ru

*****E-mail: j.tarasova84@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.05.2023 г.

После доработки 30.05.2023 г.

Принята к публикации 11.06.2023 г.

В статье показаны возможности академической фундаментальной металлогенической науки в прогнозе и поиске разнотипных рудных месторождений на примере работ различных академических институтов в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. С применением комплекса минералого-геохимических и геолого-структурных методов исследованы перспективы на медь и золото Верхне-Индиго-Иркутского и Колымского регионов и конкретных площадей в Забайкалье и Бодайбинском районе Иркутской области. Рассмотрены проблемные вопросы оценки и развития минерально-сырьевой базы регионов.

Ключевые слова: минералого-геохимические методы, фундаментальная металлогения, прогноз и оценка минерально-сырьевых ресурсов регионов Сибири и Дальнего Востока РФ.

DOI: 10.31857/S0869587323070034, **EDN:** ZUFMWO

Сегодня металлогенические исследования — это прежде всего *прогнозно-минерагенические работы*, в которых заметная роль принадлежит ака-

демической геологии. В становление и развитие металлогении как важной отрасли науки о происхождении и закономерностях размещения месторождений полезных ископаемых огромную роль сыграли учёные Российской академии наук, начиная с Ю.А. Билибина, заложившего её основы, и кончая недавно ушедшим от нас академиком Д.В. Рундквистом. Здесь уместно вспомнить про выдающийся прогноз Ю.А. Билибина по золоту Колымы (по разным источникам, от 500 до 2500 т золота), который не только подтвердился, но и заметно превышен: 3500 т золота, преимущественно россыпного, уже добыто. Билибинский прогноз известен всем геологам, занимающимся рудными месторождениями, в мире.

ГОРЯЧЕВ Николай Анатольевич — академик РАН, главный научный сотрудник СВКНИИ ДВО РАН, главный научный сотрудник ИГХ СО РАН. ФРИДОВСКИЙ Валерий Юрьевич — член-корреспондент РАН, директор ИГАБМ СО РАН. БУДЯК Александр Евгеньевич — кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора по науке ИГХ СО РАН. ГОРЯЧЕВ Иван Николаевич — научный сотрудник Сибирской школы ИРНТУ. КУДРИН Максим Васильевич — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник ИГАБМ СО РАН. ТАРАСОВА Юлия Игоревна — кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией геохимии рудообразующих систем ИГХ СО РАН.

О металлогении как науке написано много, но в современных условиях перед нами стоит сложная задача — решать вопросы, связанные с восполнением минерально-сырьевой базы, особенно по стратегическим видам минерального сырья, среди которых следует выделить металлы и металлоиды: уран, марганец, хром, титан, бокситы, медь, свинец, сурьма, олово, цинк, никель, молибден, вольфрам, кобальт, литий, рубидий, цезий, бериллий, скандий, редкоземельные элементы, индий, галлий, германий, цирконий, гафний, ванадий, ниобий, тантал, рений, золото, серебро, платиноиды. Мы остановимся именно на *прогностической роли* металлогенической науки, основанной в значительной степени на модельных построениях, которые впитали в себя весь спектр знаний об условиях появления и локализации разнотипных месторождений твёрдых полезных ископаемых, прежде всего меди и золота.

В работах, направленных на решение этой задачи, в последнее время возникла тревожная тенденция, подмеченная специалистами Центрального научно-исследовательского геолого-разведочного института цветных и благородных металлов Министерства природных ресурсов и экологии РФ (ЦНИГРИ МПР РФ), а именно: снижается роль металлогенического анализа территорий и растёт роль геометрии при планировании геологоразведочных работ (из доклада гендиректора института А.И. Черных на конференции в Якутске 21.03.2023). В материалах по обоснованию поисковых работ всё чаще нет ответов на вопросы: какой тип оруденения прогнозируется? Каковы объекты-аналоги? Какова прогностическая модель поискового объекта? Какова модельная и фактическая структура прогнозируемого рудного поля? Каков предполагаемый вещественный состав руд и рудовмещающих пород? Какой прогностический комплекс в зависимости от типа объекта и поисковой обстановки наиболее эффективен? Чем контролируется оруденение и куда оно может продолжаться? Каковы предполагаемые закономерности локализации прогнозируемых минерализованных зон? То есть геологические предпосылки перспективности объекта присутствуют всё в меньшем объёме. Именно поэтому возникает потребность в применении прогностическо-металлогенических разработок институтов, действующих под научно-методическим руководством РАН. Обычно геологи-производственники ожидают от академических институтов результатов исследований по фундаментальным основам металлогении и генетическим моделям формирования месторождений. Однако, по нашему мнению, институты РАН могут дать больше, что будет проиллюстрировано на ряде конкретных примеров.

Металлогения нацелена прежде всего на прогноз, и поэтому её нередко считают прикладной

наукой. Однако без использования *геолого-генетических моделей* формирования разнотипного оруденения никакой прогноз невозможен. А металлогенические модели строятся на основе сложного комплекса факторов, включая влияние вмещающих осадочных комплексов, через процессы метаморфизма к рудогенной роли магматических процессов. Таким образом, в моделях учитывается фундаментальный вклад всех геологических наук, в том числе и геофизические данные.

Металлогенические модели следует разделять на *глобальные* (металлогенические особенности планетарных структур, например Тихоокеанского рудного пояса), *региональные* (металлогения складчатых поясов и внутрикратонных ареалов, например Верхояно-Колымского и Монголо-Охотского орогенных поясов) и *локальные* (рудно-магматические системы как аспект прогноза, например в случае медно-порфировых систем, или модель сухоложского типа и пр.). Общие модели представляют собой геодинамический аспект металлогении, характеристику металлогении геодинамических обстановок [1]. Локальные модели — это специфика рудно-магматических систем разного уровня (например, порфировых систем) [2] или гидротермально-метаморфогенные модели (сухоложский тип) [3, 4].

Примеры локального прогноза по работам институтов, действующих под эгидой РАН. Одним из примеров влияния глобальных металлогенических моделей на проведение прогностическо-поисковых работ можно считать Тихоокеанский рудный пояс, охарактеризованный как планетарная структура ещё в работах [5, 6]. Модель распределения медных ресурсов в пределах этого пояса показана Р. Силлитоу [7], который отметил существование некоей лакуны на территории Востока России. Это побудило к проведению геологических изысканий, приведших к открытию ряда медно-порфировых объектов (Лора, Песчанка, Малмыж), и специальных исследований, которые провели сотрудники СВКНИИ ДВО РАН в Приохотской части Магаданского региона [8]. Эти исследования показали наличие ряда предпосылок для возможных находок промышленной минерализации в дополнение к уже известному месторождению Лора, что заметно повышает перспективы данного района.

Вопросы глобального прогноза с переходом на региональный уровень наиболее полно затронуты в исследованиях сотрудников ИГЕМ РАН, прежде всего группы во главе с членом-корреспондентом РАН А.В. Волковым. Ими на примере ряда региональных и общероссийских баз металлогенических данных на основе концепции рудообразующих систем, предложенной в 1968 г. Д.В. Рундквистом [9], разработан комплекс прогностических карт с учётом данных ГИС-анализа с выявлением крупных рудных районов, потенциально

перспективных с точки зрения обнаружения богатых месторождений металлов разных типов [10–12].

Применение IT-технологий для региональных прогнозных работ можно проиллюстрировать исследованиями Сибирского института геологических наук Иркутского национального исследовательского технического университета [13]. Такого рода исследования проводятся и геологами ЦНИГРИ МПР РФ [14].

Прогноз перспективных участков на золото на основе IT-технологий на примере Иньяли-Дебинского синклинория Яно-Колымского орогенного пояса. Данная работа основана на компьютерном анализе большого массива накопленных данных, обработанных по определённой схеме [13], изложенной ниже. Сама процедура исследования заключалась в последовательных (пошаговых) операциях.

Шаг первый — выбор исходных данных: геологическое строение, включая стратиграфические горизонты, складки, зоны разломов, ареалы интрузивных пород, результаты поисковых и региональных геофизических работ, материалы прикладной геохимии, спутниковые данные, расположение известных месторождений.

Шаг второй — выбор определяющих признаков. Из всех исходных данных извлекаются разнообразные признаки, которые, по мнению исследователя, могут играть роль в прогнозе нахождения месторождения. Все признаки — численные значения в точке пространства. Примерами таких признаков являются плотность даек на площади (по данным геологического строения), расстояние до интрузивов (по данным геологического строения), данные горизонтального градиента поля силы тяжести (по данным геофизики), локальная компонента магнитного поля (по данным геофизики), индекс вторичных изменений (по спутниковым данным) и многие другие.

Шаг третий — подготовка данных: 1) признаки пересчитываются на регулярную сеть (размер ячейки сети зависит от масштаба данных) и нормируются; 2) месторождения случайным образом делятся на обучающую и тестовую выборки в пропорции 75/25; 3) для каждого из месторождений в обеих выборках определяется набор значений признаков из ячеек регулярной сети.

Шаг четвёртый — обучение модели. Выбирается один или несколько методов машинного обучения. Наиболее часто используются методы случайного леса, опорных векторов, нейросети различной архитектуры. Алгоритм тренируется с использованием признаков, содержащихся в обучающей выборке месторождений, а затем проверяется на тестовой выборке. В результате различными методами оценивается точность прогноза с использованием данного алгоритма и обосновывается вероятность того, что объект, характеризующийся данным набором признаков, является месторождением. Оценка точности прогноза поз-

воляет определить процент правильных и неправильных предсказаний. Если точность прогноза не удовлетворительна, пересматривается набор признаков, изменяются параметры алгоритма или выбирается более подходящий алгоритм.

Шаг пятый — построение прогноза. Если точность прогноза удовлетворяет, на всю площадь строится карта прогноза, на которой для каждой ячейки регулярной сети рассчитывается вероятность нахождения месторождения (рис. 1).

Другой пример региональных работ прогнозного-металлогенического характера — исследование геологов Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН под руководством члена-корреспондента РАН В.Ю. Фридовского, осуществивших прогноз на основании тонких исследований минералогии и геохимии руд с учётом созданной прогнозно-поисковой модели орогенных месторождений золота западной и центральной частей Яно-Колымского пояса.

Типоморфизм сульфидов и геолого-генетическая модель для прогноза крупнообъёмных месторождений золота орогенного типа западного и центрального секторов Яно-Колымского металлогенического пояса. Большинство (45%) золоторудных месторождений мира с запасами более 30 т золота относятся к орогенному типу (ОЗМ); это намного больше, чем в других типах месторождений [15, 16]. Золото в ОЗМ находится в самородной “видимой” форме в кварцевых жилах/прожилках минерализованных зон дробления. В крупнообъёмных месторождениях этого типа во вкрапленном пирите и арсенопирите присутствует “невидимое” золото — твёрдый раствор Au^+ или наночастицы Au^0 . Вкрапленные руды обычно бедные и что называется дважды упорные¹. Появление технологий переработки таких руд высокотемпературным автоклавным окислением и интенсивным цианированием стимулировало их изучение и поиски.

Наблюдения микротекстур с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) были дополнены анализом основных и второстепенных элементов в главных рудообразующих сульфидах (рентгеноспектральный микроанализ — РСМА) и данными изотопного состава серы S^{34} вкрапленных пирита и арсенопирита ряда ОЗМ западного и центрального секторов Яно-Колымского металлогенического пояса (ЯКМП) [17–19]. Результаты использовались для реконструкции развития рудообразующих событий и переинтерпретации источника золота и гидротермальных флюидных потоков золотых систем, а также определения региональных и локальных призна-

¹ Первичные руды золота называют упорными, если извлечение из них золота с использованием традиционной технологии цианирования не превышает 80%. Упорность золота чаще всего связана с рассеянием его в сульфидных минералах и арсенопирите в изоморфной или дисперсной форме, затрудняющей доступ выщелачивающего раствора.

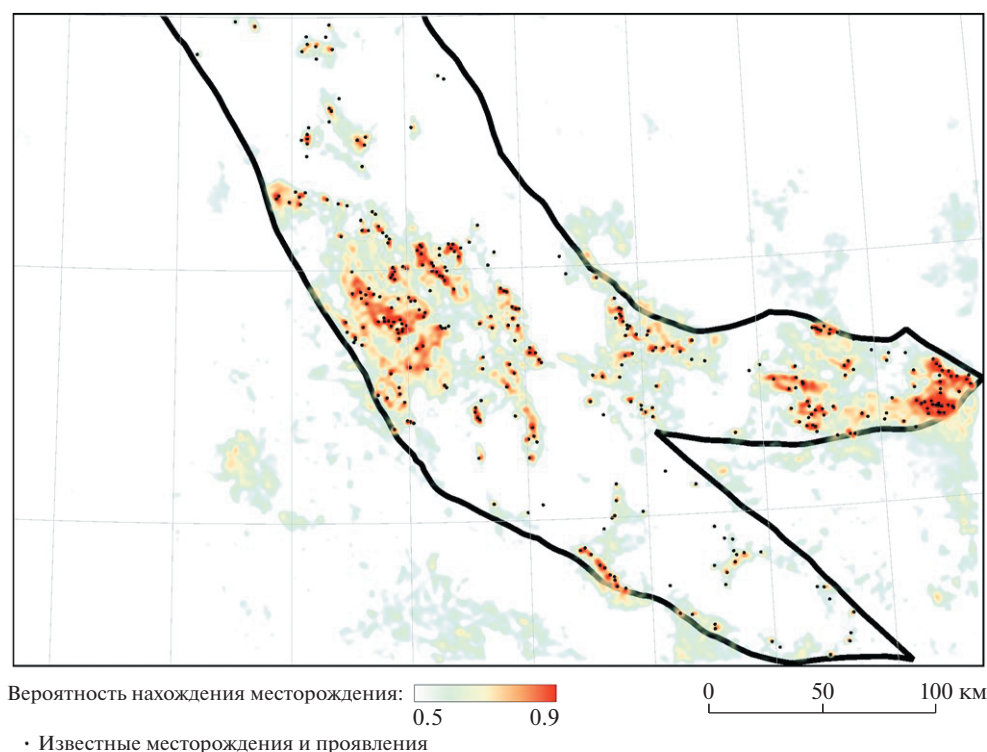


Рис. 1. Прогнозная карта перспективных участков на восточную (хатангскую) часть Яно-Хатангского орогенного пояса [13]

ков (основа прогнозно-поисковой модели) ОЗМ ЯКМП, изложенных ниже.

Региональные признаки ОЗМ определяются прежде всего особенностями позднеюрско-раннемелового геологического развития и металлогении Яно-Хатангского орогенного пояса.

1. Связь ОЗМ с позднеорогенными событиями на восточной континентальной окраине Сибирского кратона. Положение ОЗМ в тылу сопряжённых позднеюрских Уяндино-Ясачненского вулканического и Главного батолитового поясов.

2. Приуроченность к зонам трансформных продольных разломов — Адыча-Тарынского, Чай-Юрьинского и др., являющихся путями транзита региональных флюидных потоков и магмаконтролирующими структурами.

3. Умеренное развитие в рудных районах магматических образований комплекса малых интрузий, остывание которых субсинхронно эпизодам тектоно-термальных событий формирования орогенного оруденения.

4. Проявление признаков корово-мантийного взаимодействия при эволюции рудообразующих систем.

6. Постметаформическая природа позднеорогенных золоторудных месторождений.

Локальные признаки определяются средой рудоотложения, параметрами и эволюцией рудообразующих систем.

1. Сочетание систем региональных продольных разломов и разломов 2–3 порядков с поперечными зонами повышенной проницаемости, выраженных сгущением тектонической трещиноватости, локальными разломами и роями даек комплекса малых интрузий.

2. Длительное многоэтапное развитие рудолокализирующих структур; характерны структуры прогрессивных деформаций.

3. Компрессионный режим рудного этапа и локальное проявление транспрессионного режима, благоприятные для вскрытия нижнекоревых флюидных систем.

4. Значительный вертикальный и латеральный (до 5–6 км) размах оруденения с редуцированными или отсутствующими минералого-геохимической и изотопно-геохимической зональностью.

5. Развитие широких (до первых сотен метров) зон кварц-серцит-карбонатных метасоматитов с импрегнированными пиритом и арсенопиритом, пространственно связанных с разломами, обычно с системами межпластовых и лестничных жил, а также штокерков.

6. Повышенная (до первых сотен г/т) золотосодержательность вкрапленных пирита и арсенопирита из метасоматитов при общей сульфидизации до 5–8%. Преобладающей формой золота в сульфидах является “невидимая” структурно-связанная Au^+ .

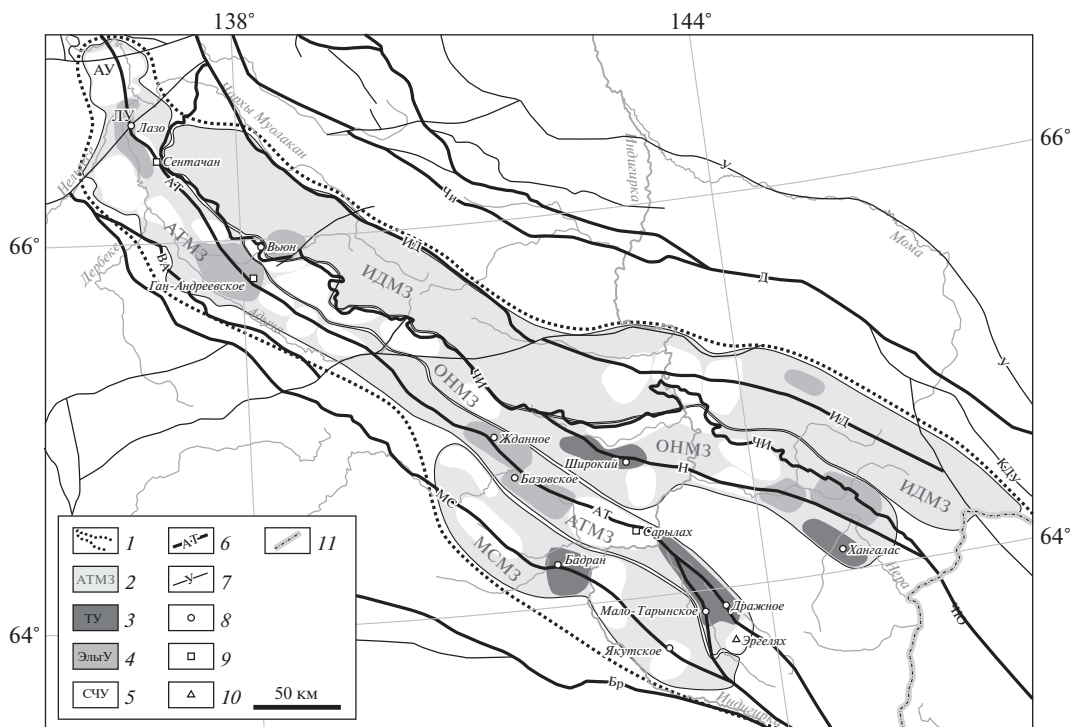


Рис. 2. Перспективные площади на обнаружение крупнообъёмных золоторудных месторождений орогенного типа в центральном и западном секторах Яно-Колымского металлогенического пояса (с использованием данных [20–23]): 1 – граница Яно-Колымского металлогенического пояса; 2 – металлогенические зоны и их названия; 3–5 – рудные узлы: 3 – перспективные первой очереди, 4 – перспективные второй очереди; 5 – прочие; 6–7 – разломы и их названия: 6 – главные, 7 – прочие; 8–10 – месторождения: 8 – орогенные золоторудные, 9 – золото-сурьмяные, 10 – золото-висмутовые (связанные с интрузивами); 11 – граница Республики Саха (Якутия).

Инъяли-Дебинская металлогеническая зона (ИДМЗ), Адыча-Тарынская металлогеническая зона (АТМЗ), Мугурдах-Селириканская металлогеническая зона (МСМЗ).

Разрывные нарушения: Бр – Брюнгадинский, МС – Мугурдах-Селириканский, АТ – Адыча-Тарынский, Н – Нерский, ЧИ – Чаркы-Индибирский, ЧЮ – Чай-Юрьинский, ИД – Инъяли-Дебинский, Чи – Чибгалахский, Д – Дарпирский, У – Улаханский, КДУ – Кунтук-Дебинско-Умарский

7. Золотосодержащие вкрапленные арсенопирит и пирит имеют нестехиометрический состав. Для арсенопирита характерно обогащение серой (As/S от 0.77 до 0.99), наличие примесей Sb, Co, Ni и Cu общей концентрацией не более 0.15 мас. %. Пирит содержит те же элементы (общая концентрация до 3.71%), реже Pb, обеднён S и обогащён As (до 3.16 мас. %).

8. Проявление полного ряда минеральных ассоциаций золото-сульфидно-кварцевого ряда – пирит-арсенопирит-кварцевая метасоматическая, пирит-арсенопирит-кварцевая жильная, золото-полисульфидно-кварцевая и сульфосолюно-карбонатная.

9. Мезотермальные температуры минералообразования, низко- и умеренно солёные рудообразующие флюиды от водно-углекислотного (H_2O-CO_2) до водно-углекислотно-метанового ($H_2O-CO_2-CH_4$) состава.

10. Наличие высококонтрастных геохимических аномалий As, Sb, Au, Ag, Pb, Zn.

Новые характеристики, сведения о происхождении и золотоносности вкрапленной минерализации из метасоматитов, а также региональные и локальные признаки ОЗМ позволили определить положение участков, перспективных на обнаружение крупнообъёмных ОЗМ западного и центрального секторов Яно-Колымского металлогенического пояса (рис. 2).

Локальный прогноз является наиболее распространённым видом прогнозно-минерогенических исследований и иллюстрируется нами на примере работы геологов и геохимиков Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН в пределах Забайкальского края и Иркутской области.

Локальный прогноз порфирового оруденения в районе Амуджиканского гранитного массива (Восточное Забайкалье). Исходя из наиболее известной локальной модели медно-порфировой рудно-магматической системы с присущей ей металлогенической и геохимической вертикальной зональностью [7, 24] нами были проведены по-

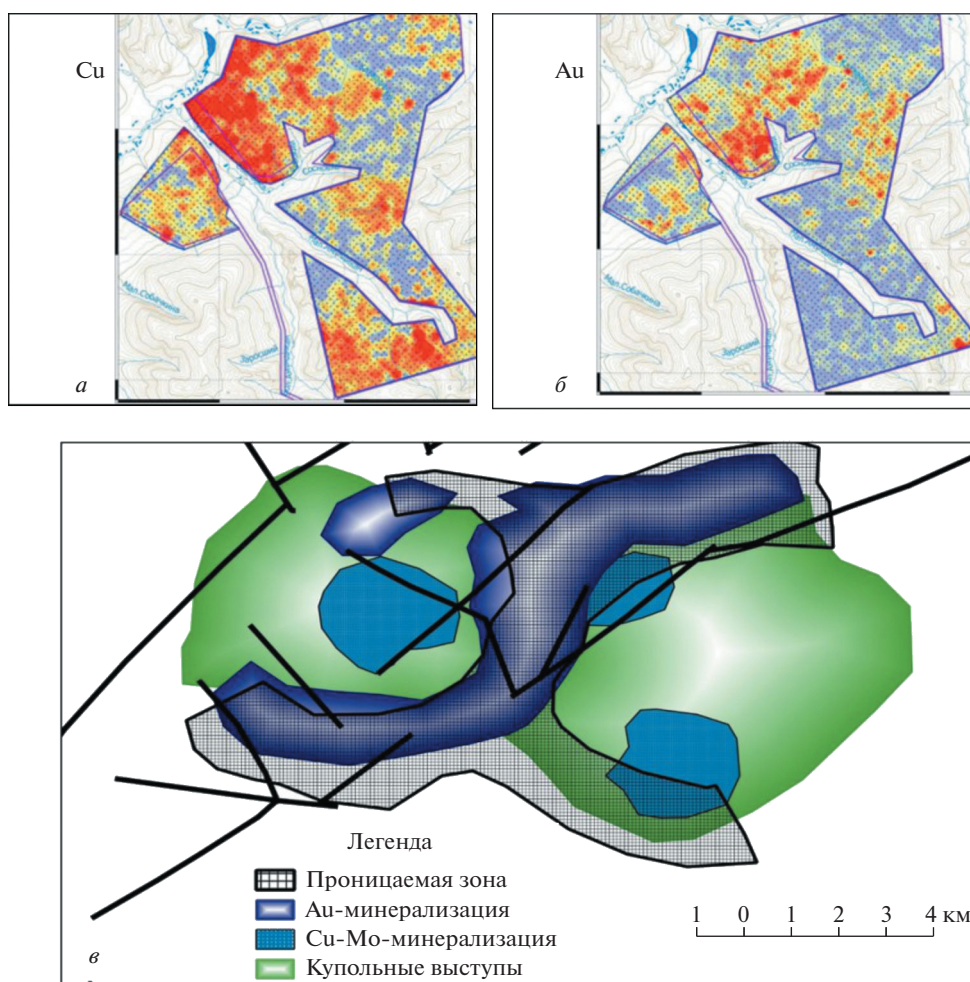


Рис. 3. Моноэлементные (Cu — *a*, Au — *б*) геохимические аномалии в приконтактовой зоне Лево-Амуджиканского массива и локальная поисково-оценочная модель благороднометалльной и медно-молибденовой минерализации (*в*) [25]. Красным отмечены максимальные значения содержания элементов

исково-оценочные работы в районе Лево-Амуджиканского массива Могочинского района Забайкальского края. Результаты геохимической съёмки показаны на рисунке 3*а, б*. Металлогенические реконструкции по результатам геохимической съёмки на основе порфировой модели [25] позволили выделить два интрузивных купола с Cu-Мо-порфировой минерализацией в ядрах и золотой на флангах (рис. 3*в*). В зоне, контролирующей золотую минерализацию, также установлена вертикальная геохимическая зональность, связанная с разным уровнем эрозионного среза геологических блоков в её пределах.

Локальный прогноз золотого оруденения сухоложского типа. Пример применения локальных метаморфогенных металлогенических моделей — модель формирования руд сухоложского типа, основы которой составляют четыре позиции, изложенные ниже по материалам В.А. Буряка и других исследователей Бодайбинского района.

1. Углеродистые ($C_{\text{орг}}$ до 4 мас. %) терригенно-карбонатные толщи, являющиеся как источником рудного флюида, так и вмещающей матрицей для формирования рудных месторождений.

2. Рудные тела представлены объёмными штоками прожилково-вкрапленной минерализации, с незначительными содержаниями (первые г/т), но крупными запасами (>100 т) золота.

3. Наличие структурного (антиклинальные складки 3-го порядка) и литологического (контакт углеродсодержащих филитовидных сланцев с алевролитами) контроля.

4. Однообразный набор рудных минералов — пирит, пирротин, арсенопирит, галенит, реже сфалерит, халькопирит, самородное золото. При этом стадийность формирования рудной минерализации идентична, что связано с одинаковым развитием месторождений в рамках эволюционного развития территории.

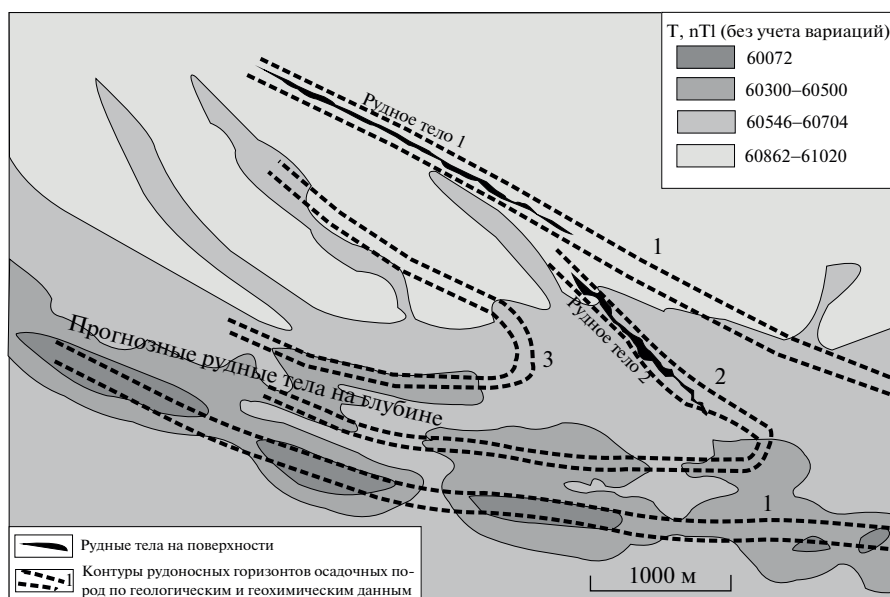


Рис. 4. Прогнозная геолого-геофизическая модель месторождения сухоложского типа Угахан, подтверждённая данными разведки [26]

На современном уровне знаний установлено, что все месторождения сухоложского генетического типа Бодайбинского района локализованы на одном Дальнетайгинско-Жуинском стратиграфическом горизонте, вмещающем крупные и гигантские месторождения золота.

Как уже отмечено выше, развиваемая модель базируется на представлениях, изначально предложенных первооткрывателем месторождения Сухой Лог В.А. Бураком. Концепция заключается в полихронном и полистадийном формировании месторождений: седиментация, катагенез, метаморфизм. Выделяются три этапа формирования руд данного типа: (I) прерудные этапы – осадконакопление и региональный метаморфизм, возникновение обогащённых органикой и благородными металлами стратиграфических уровней [3]; (II) ранний (главный), связанный с плутометаморфизмом; (III) поздний (герцинский магматизм). Метаморфические преобразования главного этапа делятся на две стадии: раннюю – прогрессивного метаморфизма с формированием пирротиновой минерализации, и собственно рудную, регрессивную стадию, с формированием пиритовой минерализации с золотом. Предложенная модель формирования месторождений сухоложского типа подтверждена нами многократно на различных объектах Бодайбинского района (Голец Высочайший, Красное, Светловское рудное поле, Угахан).

В рамках работ с горнорудной компанией “GV-Gold” изучалось месторождение Угахан. Согласно представленной концепции формирования месторождений сухоложского типа была

предложена идея о возможном положении оруденения в лежащем крыле антиклинали (рис. 4). В результате проведённых геофизических и литогеохимических работ выделены перспективные участки, которые позже были заверены буровыми работами. Был получен прирост запасов [26]. Аналогичные прогнозы осуществлялись нами по геохимическим и геофизическим работам на месторождении Красное и участке Батый. В первом случае также были выявлены прогнозируемые тела, во втором по результатам заверочного бурения обнаружены хорошие промышленные сечения.

Другим аспектом прогнозно-металлогенических исследований следует рассматривать **необходимость геолого-экономической переоценки известных объектов**, включая так называемую техногенку. Такая необходимость обусловлена тем, что при определении приоритетов в работах по восполнению минерально-сырьевой базы (МСБ) стратегических видов минерального сырья необходимо исходить из её реального состояния. Данное положение требует проведения комплексной геолого-экономической оценки (геологов совместно с экономистами) современного состояния МСБ этих ресурсов как в старопромышленных (особенно на нетрадиционные для них ресурсы металлов), так и во вновь осваиваемых (например, ряд территорий Арктики и прилегающих районов) регионах.

Кроме того, развитие технологий обогащения и извлечения сырья, изменение экономической ситуации имеют своим следствием смену подходов к освоению месторождений: для Au – от богатых локальных рудных тел к большеобъёмному

оруденению с низкими содержаниями Au 1–2 г/т; например, на месторождениях Албазино, Наталка и др., а также в Cu-порфировых рудах (Баимка, Малмыж) подсчитаны запасы в сотни тонн золота с 0.1–0.3 г/т содержаниями. Это ставит вопрос о переоценке ранее, казалось бы, неинтересных месторождений разных металлов.

Примерами весьма перспективных техногенных ресурсов являются отвалы горного производства и технологические отходы рудоизвлекательных фабрик крупных месторождений. Поэтому важным аспектом таких работ должна быть ревизия состояния отвального комплекса и хвостов отработки крупных месторождений разных металлов, прежде всего редких. Так, по данным Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (Чита), “хвосты”, накопленные за 50 лет освоения Завитинского месторождения в Забайкалье, достигают 11.7 млн т техногенного сырья с 0.25–0.53% Li_2O [27]. А техногенные месторождения редкометалльных элементов (Li, Be, Rb, Cs) Ярославского ГОКа в Приморском крае, по данным Дальневосточного геологического института ДВО РАН (Владивосток), – это 28 млн т отходов флотации флюоритового концентрата, в которых содержится 0.45% Li_2O , а также промышленно интересные содержания Rb, Be и Cs.

Таким образом, академическая наука, разрабатывая фундаментальные основы металлогении, может вносить и конкретный вклад в решение прогнозно-металлогенических задач. Однако максимальный эффект достигается объединением усилий всех заинтересованных сторон, включая властные структуры (федеральные и региональные). При определении приоритетов необходимо исходить из реального состояния минерально-сырьевой базы высоколиквидных и технологичных минеральных ресурсов (ВТМР). С этой целью предлагается провести силами РАН, академических (Минобрнауки России) и прикладных (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) институтов предварительную комплексную геолого-экономическую оценку современного состояния минерально-сырьевой базы этих ресурсов как в старопромышленных регионах (на нетрадиционные для них ресурсы металлов), так и во вновь осваиваемых (например, ряд Арктических и Приарктических территорий). Такая переоценка должна стать начальной фазой федеральной Программы прогнозно-минерогенических работ (инициатива ЦНИГРИ МПР), которые необходимо развернуть в ближайшем будущем по профилю МПР РФ и Роснедр. Академия наук и академические институты должны принять активное участие в этой деятельности. Её результатом будет определение специализации тех или иных регионов на соответствующие

виды ВТМР, что позволит рациональнее подойти к их последующему освоению.

Объединение усилий недропользователей, институтов и предприятий геологической отрасли и Российской академии наук в рамках реализации интеграционных федеральных и региональных проектов в старопромышленных и слабо освоенных регионах позволит в краткие сроки (3–5 лет) преодолеть тенденцию истощения минерально-сырьевой базы и решить проблему ресурсов, в отношении которых сложилась критическая зависимость от импорта.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование вкрапленной минерализации Яно-Колымского пояса поддержано ИГАБМ СО РАН (FUEM-2019-0004). Исследование оруденения Забайкалья и Бодайбинского района поддержано ИГХ СО РАН (тема 0284-2021-0001).

ЛИТЕРАТУРА

1. Горячев Н.А. Рудные месторождения в истории Земли: тектоно-металлогенический очерк. Владивосток: Дальнаука, ИП Сердюк О.А., 2021.
2. Sillitoe R.H. Copper Provinces // SEG Special Publication. 2012. № 16. P. 1–18.
3. Немеров В.К., Станевич А.М., Развозжаева Э.А. и др. Биогенно-седиментационные факторы рудообразования в неопротерозойских толщах Байкало-Патомского региона // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 5. С. 729–747.
4. Tarasova Yu.I., Budyak A.E., Chugaev A.V. et al. Mineralogical and isotope-geochemical ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$ and Pb–Pb) characteristics of the Krasniy gold mine (Baikal-Highlands): constraining ore-forming mechanisms and the model for Sukhoi Log-type deposits // Ore Geology Reviews. V. 119. April 2020. 103365. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103365>
5. Смирнов С.С. О Тихоокеанском рудном поясе // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1946. № 2. С. 13–28.
6. Радкевич Е.А. Металлогения Тихоокеанского рудного пояса // Металлогения Тихоокеанского рудного пояса. Владивосток: Изд-ва ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 3–16.
7. Sillitoe R.H. Porphyry copper systems // Economic Geology. 2010. V. 105. P. 3–41.
8. Колова Е.Е., Глухов А.Н. Медно-порфировые месторождения Северного Приохотья – поисковые предпосылки и их реализация // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов XII Международной научно-практической конференции. 11–14 апреля 2023 г., Москва, ЦНИГРИ. С. 237–240.
9. Rundquist D.V. Accumulation of metals and the evolution of the genetic types of deposits in the history of the Earth // International geological congress. 23 session.

- Czechoslovakia, 1968. Proceedings. Section 7. Endogenous ore deposits. Prague: Academia, 1968. P. 85–97.
10. Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л. и др. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы развития // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 68. № 2. С. 97–119.
 11. Волков А.В., Галямов А.Л., Лобанов К.В. Геодинамические обстановки формирования месторождений стратегических металлов в Арктической зоне России // Арктика: экология и экономика. 2019. № 2 (34). С. 110–119.
 12. Волков А.В. Новые подходы к прогнозированию крупных месторождений стратегических металлов // VM-Novitates. Новости из геологического музея им. В.И. Вернадского. 2013. № 1(17). С. 22–30.
 13. Горячев И.Н. Mineral prospectivity mapping для прогноза месторождений золота Центрально-Колымского региона (Магаданская область, Россия) // Геоинформатика. 2023. № 1. С. 4–17. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-1-4-17>
 14. Карамышев А.В., Фёдорова К.С., Тарасов А.В. Прогноз скрытого золотого оруденения в пределах Центрально-Колымского района по комплексу геолого-геофизических признаков методом распознавания // Руды и металлы. 2020. № 2. С. 10–24. <https://doi.org/10.24411/0869-5997-2020-10010>
 15. Frimmel H.E. Earth's Continental Crustal Gold Endowment // Earth and Planetary Science Letters. 2008. № 267. P. 45–55.
 16. Goldfarb R.J., Baker T., Dube B. et al. Distribution, Character, and Genesis of Gold Deposits in Metamorphic Terranes // Economic Geology 100th Anniversary Volume. 2005. P. 407–450.
 17. Фридовский В.Ю., Полуфунтикова Л.И., Кудрин М.В., Горячев Н.А. Изотопный состав серы и геохимические характеристики золотоносных сульфидов орогенного месторождения Бадран, Яно-Колымский металлогенический пояс (северо-восток Азии) // ДАН. Науки о Земле. 2022. Т. 502. № 1. С. 3–9.
 18. Фридовский В.Ю., Полуфунтикова Л.И., Кудрин М.В. Геохимические и изотопные характеристики вкрапленной сульфидной минерализации орогенных золоторудных месторождений Яно-Колымского металлогенического пояса (северо-восток России) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 508. № 1. С. 24–31.
 19. Fridovsky V.Yu., Polufuntikova L.I., Kudrin M.V. Origin of disseminated gold-sulfide mineralization from proximal alteration in orogenic gold deposits in the Central Sector of the Yana–Kolyma metallogenic belt, NE Russia // Minerals. 2023. Т. 13. № 3. С. 394–434.
 20. Протопопов Р.И., Трущелев А.М., Протопопов Г.Х. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Q-53 – Верхоянск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. С. 437.
 21. Протопопов Г.Х., Трущелев А.М., Кузнецов Ю.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Q-54 – Усть-Нера. Объяснительная записка. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. С. 845.
 22. Казакова Г.Г., Васькин А.Ф., Кропачев А.П. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-54 – Оймякон. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013. С. 400.
 23. Шпикерман В.И., Полуботко И.В., Васькин А.Ф. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Верхояно-Колымская. Лист Р-55 – Сусуман. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2016. С. 520.
 24. Kouzmanov K., Pokrovski G. Hydrothermal Controls on Metal Distribution in Porphyry Cu (–Mo–Au) Systems // SEG Special Publication. 2012. № 16. P. 573–618.
 25. Будяк А.Е., Ефремов С.В., Скузоватов С.Ю. и др. Комплексные исследования разнотипных рудообразующих систем в прогнозно-поисковых целях // Материалы юбилейной конференции Института геохимии СО РАН. Иркутск, 22–25 ноября 2022 г. Т. 1. Иркутск: ИГХ СО РАН, 2022. С. 76–79.
 26. Бабяк В.Н., Блинов А.В., Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. Новые данные о геолого-структурных особенностях золоторудных месторождений “Ожерелье”, “Ыканское”, “Угахан” и “Голец Высочайший” // Науки о Земле и недропользование. 2019. 42 (4). С. 388–412. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-388-412>