

Методы и методики прогноза, поисков, оценки и разведки месторождений

ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОИЗВОДСТВА ОПЕРЕЖАЮЩИХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ПРОГНОЗНО-МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОТДАЛЁННЫХ РАЙОНАХ СИБИРИ И АРКТИКИ

Рассмотрены методические вопросы проведения прогнозно-минералогических исследований, конечным результатом которых является выделение обоснованных и подготовленных площадей для постановки поисковых работ на алмазы и другие виды твёрдых полезных ископаемых. Проанализированы основные аспекты использования пространственных данных, производства полевых шлихоминералогических работ и аналитических исследований минералов. Обоснована необходимость двухэтапной реализации прогнозно-минералогических работ.

Ключевые слова: прогнозно-минералогические работы, алмазопыскальные работы, прогнозирование, опробование, пространственные данные, таксон, алмаз.

Вопросы обоснования и подготовки на современном уровне площадей под постановку поисковых работ на алмазы и многие другие виды полезных ископаемых становятся всё более актуальными по мере исчерпания фонда перспективных поисковых участков. В связи с этим возрастает потребность в проведении опережающих геолого-геофизических или прогнозно-минералогических исследований, конечным результатом которых является выделение обоснованных и подготовленных площадей для поисковых работ. Данное направление развития геологоразведочных работ особенно важно для арктических районов России, труднодоступных территорий Сибирской платформы, горных районов, т.е. для всех районов со слабой инфраструктурой и сложной логистикой. Участки поисковых работ в таких районах должны быть максимально локализованы и обоснованы в целях снижения логистических затрат и прямых потерь от опосредованного локализации площадей. Кроме того, должны быть определены основные и сопутствующие виды твёрдых полезных ископаемых, ожидаемые типы месторождений и обоснованы наиболее рациональные комплексы полевых работ в разных поисковых обстановках.

АО СНИИГГиМС в последние годы в рамках различных государственных контрактов выполнены или выполняются комплексные геолого-геофизические работы, которые можно отнести к опережающим геолого-геофизическим или прогнозно-минералогическим работам масштабов 1:200 000–1:500 000. Так, в 2012–2014 гг. осуществлены поисковые работы на алмазы в Тычанском алмазоносном районе Красноярского края, а в 2017 г. завершаются ра-



**РУДЫ
И
МЕТАЛЛЫ**



Мишенин Сергей Григорьевич¹

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий отделом геологии алмаза
mishenin-sg@mail.ru

Дак Алексей Иванович¹

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий группой
минералогических исследований
a_dak@mail.ru

Мальковец Владимир Григорьевич²

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
vladimir.malkovets@gmail.com

Утюпин Юрий Валерьевич¹

кандидат физико-математических наук
ведущий научный сотрудник
yuraut@yandex.ru

Яворская Гелена Здиславовна¹

ведущий инженер-программист
gelena2002@list.ru

Яныгин Юрий Тимофеевич¹

ведущий геолог
yury.yanygin@yandex.ru

¹ АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», г. Новосибирск

² ФГБУН «Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева» СО РАН, г. Новосибирск



боты в Илимо-Катангском районе Иркутской области. Несмотря на узкую специализацию опережающих алмазопроисковых работ, многие выводы, полученные в ходе их проведения, можно распространить и на другие твёрдые полезные ископаемые.

Целевое назначение опережающих алмазопроисковых работ – выявление, локализация и оценка перспектив продуктивности объектов ранга кимберлитовое поле, а также обоснование комплекса поисковых работ, необходимых для вскрытия тел потенциально алмазонасных пород. Особенностью данных работ является достаточно большая исходная площадь поисков, как правило, соответствующая в минерагеническом плане алмазонасному району (несколько десятков тысяч квадратных километров), в пределах которой следует выделить и оценить перспективные участки, гарантированно охватывающие объекты ранга кимберлитовое поле. Размеры последних на Сибирской платформе варьируют от первых десятков квадратных километров (монокластерные поля типа Верхне-Моторчунского кимберлитового поля) до двух-трёх тысяч квадратных километров (поликластерные поля типа Алакит-Мархинского).

На основании накопленного нами опыта проведения опережающих геолого-геофизических работ выделены три проблемы по их организации, подготовке и выполнению.

1. Главная проблема в рудной геологии (в том числе на алмазопроисковых работах) при решении прогнозно-поисковых задач и оценке значительных по площади территорий – выделение рудолокализирующих структурно-вещественных неоднородностей (СВН) земной коры (преимущественно в её верхней части). Под СВН понимается часть объёмного пространства горных пород, отличающегося от вмещающих пород вещественным составом и/или физическими параметрами и являющегося целостным системным образованием, существующим в неразрывном единстве с окружающей геологической средой.

В частности, при решении алмазопрогнозных задач объектом поиска служит кимберлитовое поле как естественная группировка пространственно сближенных кимберлитовых тел, происхождение которых связано с единым глубинным источником – вертикальной «стволовой» зоной повышенной проницаемости (флюидно-магматической колонной) в литосфере. Установление признаков локализации данной СВН и является задачей про-

гноза. Предполагаемые неоднородности земной коры под кимберлитовыми полями, как правило, не очень контрастны, поэтому требуют для выделения использования достаточно сложных алгоритмов анализа данных, зависящих от качества исходной информации.

Имеется множество примеров выделения СВН, характерных для кимберлитовых полей, различными геолого-геофизическими методами [3, 4 и др.]. Многие из них получены нами в последние годы при выполнении алмазопроисковых работ. Наиболее информативны для этих целей – пространственные данные, полностью охватывающие район работ, собранные при достаточной и регулярной плотности наблюдений надлежащего качества, обеспечивающие при их анализе достоверное выделение тех или иных признаков и предпосылок проявления кимберлитов и родственных им пород. К пространственным данным можно отнести: аномальные гравитационное и магнитное поля, площадные распределения электромагнитных, сейсмоакустических и структурных параметров, данные площадной обработки дистанционных зондирований, цифровые модели рельефа и гидросети, карты распределения геохимических, минералогических и других индикационных параметров геосреды, которые можно реализовать в площадном представлении для изучаемой территории.

В общем случае, как показывает наработанный нами опыт, системное использование и анализ пространственных данных позволяют представить структурно-тектонический каркас территории с выделением разноранговых тектонических, структурных и вещественных неоднородностей земной коры, благоприятных для проявления кимберлитов и родственных им пород, на стадии выполнения прогнозных работ. Пространственные данные в комплексе с материалами минералогических исследований дают возможность локализовать объекты полевого изучения и сконцентрировать геологоразведочные работы следующих стадий в пределах наиболее перспективных участков.

Существует много разновидностей алгоритмов информационно-статистического и таксономического суммирования предпосылок и признаков, позволяющих ранжировать территорию по степени благоприятности для проявления глубинного щёлочно-ультраосновного магматизма, т.е. решить задачу прогноза. Нами опробовались алгоритмы как входящие в состав известных пакетов программ,

так и собственной разработки и было установлено, что данные методы количественного прогноза значительно уменьшают число ошибок 1-го и 2-го родов (соответственно пропуск кимберлитового поля и исследование пустых площадей). При этом изучалась устойчивость получаемых решений в зависимости от типов данных, их плотности и качества представления. Установлено, что одним из главных условий успешного решения задач прогнозирования рудоносных таксонов (рудных узлов, кимберлитовых полей и т.д.) является качество и равномерность сетей наблюдения этих данных, а также наличие эффективных методик сведения и увязки разномасштабных сетей, обнаружения и фильтрации деформаций и системных ошибок.

Сбор и актуализация пространственных данных предполагают обязательный и тщательный анализ их качества. Недочёт качества, однородности и достоверности исходных пространственных данных приводит к существенным ошибкам при прогнозных построениях.

К сожалению, при постановке опережающих геолого-геофизических и прогнозно-минерагенических работ авторы повсеместно сталкиваются со значительными проблемами, обусловленными сбором пространственных данных и формированием качественных сетей (гридов) для их анализа в связи с разной масштабностью и качеством, а также доступностью первичных материалов практически по всем типам данных. Ранее изданные сводные карты, как правило, не пригодны для корректной обработки и анализа. Например, в геопотенциальных полях на сводных картах часто нарушена структура данных и частотного спектра на границах разномасштабных, разновременных и разновысотных съёмов, вплоть до полной потери условий потенциальности отражаемых полей, и, как правило, даже применение специальных алгоритмов уравнивания сетей не позволяет преодолеть имеющиеся искажения.

Рассматривая различные варианты использования пространственных данных при разномасштабных прогнозно-минерагенических исследованиях, приходим к выводу, что качество данных, плотность и равномерность сетей наблюдений имеют определяющее значение для реализации большинства алгоритмов анализа, направленных на извлечение из информационных массивов полезных компонентов, характеризующих те или иные прогнозные признаки и предпосылки. В об-

щем случае, плотность сетей (масштаб) пространственных данных должна не менее чем в два раза превышать масштаб выполняемых работ.

Недостаточное качество данных и неравномерность сетей наблюдений существенно сдерживают применение многих перспективных технологий анализа данных (распознавания образов, нейронных сетей, вычислительных методов линейной алгебры, многомодельного прогноза и т.д.) или делают результаты их использования весьма неоднозначными. При выборе масштаба опережающих геолого-геофизических или прогнозно-минерагенических работ необходимо тщательно выполнять предварительную оценку имеющихся пространственных данных, оценивать и предусматривать реальные время и затраты на создание их сетей (гридов) необходимого качества и плотности.

Ширина периферического перекрытия определяется исходя из следующих соображений. Обработка площадных геофизических данных в современных пакетах специализированных программ ведётся в подавляющем большинстве случаев в скользящих окнах различного размера, который определяется как свойствами алгоритма, так и глубиной исследований. Глубина геофизических исследований при решении алмазопрогностических задач обычно составляет 40–50 км (поверхность Мохоровичича). Выделение характеристических локальных элементов геополей и поверхностей также требует использования окон эквивалентным радиусом до 30 км и более. В краевых зонах площади, где расстояние до её края меньше радиуса окна, возникают значительные искажения определяемых характеристик, и, таким образом, происходит существенное снижение области корректных площадных построений. Для преодоления этих негативных факторов и получения равнокорректных построений изучаемых площадей необходимо предусматривать расширение площади построения матриц геофизических полей, структурных поверхностей и других цифровых пространственных данных (цифровая модель рельефа и т.д.) за пределы проектной площади на предполагаемый эффективный радиус окон обработки.

Анализ опосредованности пространственными методами исследований Сибирской платформы и её активизированных окраин показывает, что качество и плотность имеющихся сетей наблюдений позволяют выполнять в регионе опережающие геолого-геофизические или прогнозно-минерагени-

ческие работы масштаба не крупнее 1:500 000 в пределах достаточно крупных минерагенических таксонов (до 5–8 трапеций масштаба 1:500 000) при условии реализации в необходимом объёме подготовительных работ по сбору, подготовке и актуализации накопленных пространственных данных и целевой геолого-поисковой информации для оптимального планирования полевых работ.

При постановке более детальных работ масштаба 1:200 000 и крупнее (типа ГМК-200 или поисковые работы) необходимо учитывать наличие пространственных данных с плотностью сетей не менее масштаба 1:25 000–50 000, а в случае их отсутствия крайне целесообразно предусмотреть опережающее специализированное дистанционное зондирование и комплексные аэрогеофизические съёмки.

2. Существенное значение на этапе подготовки площадей имеет анализ ранее проведённых геолого-геофизических работ, в том числе прогнозных исследований предшественников. Важно провести районирование территории по условиям ведения поисков для оптимального проектирования методики и объёмов опробования на выбранных участках с учётом их специфических ландшафтно-геологических обстановок.

При алмазопромышленных работах, по нашему мнению, эффективная методика опробования должна быть ориентирована на достоверную оценку территории в отношении наличия индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), т.е. на их гарантированное выявление в поисковой обстановке изучаемой площади в количестве, необходимом и достаточном для аналитических исследований и формулирования обоснованных прогнозных заключений, или достоверно доказанное отсутствие ИМК. В связи с этим следует выполнять работы по отработке и оптимизации поискового шлихо-минералогического комплекса применительно к конкретным ландшафтно-геологическим условиям изучаемой площади.

Нами в АО СНИИГиМС предложен новый адаптивный подход к организации, методике, составу и техническому обеспечению комплекса полевых опробовательских работ. Основные положения подхода к обоснованию методики опробования в зависимости от поисковых обстановок сводятся к следующему:

- геолого-геоморфологическое изучение особенностей формирования и генезиса рыхлых

отложений в долинах рек и разновозрастных покровных образований (или их реликтов) на водораздельных пространствах с их опробованием на наличие ИМК;

- отказ от равномерного опробования современной гидросети (при сохранении средней плотности опробования на единицу площади в масштабе работ) с локализацией точек опробования прежде всего на наиболее благоприятных микрофациях, для чего проводится опережающее тестирование определённой площади русла (косы, донных отложений на плёсах) или точек выхода продуктивного горизонта на склонах пробами небольшого объёма (10–20 л);
- существенное увеличение доли шлихоминералогических проб, отбираемых по склонам и водоразделам на участках, являющихся потенциальными областями сноса ИМК, в том числе с использованием средств механизации;
- существенное увеличение объёма шлиховых проб, который должен обеспечивать надёжное обнаружение ИМК и получение достаточно представительного количества зёрен ИМК, т.е. объём шлиховых проб при необходимости может быть увеличен до 300 л, при этом количество индикаторных минералов разных гранулометрических классов должно быть не менее 30–50 зёрен;
- мелкообъёмное (рядовое и секционное) опробование с использованием современных средств механизации должно быть направлено на получение представительных количеств ИМК для их исследования разными минералогическими методами в целях обеспечения комплексной идентификации ореолов; в зависимости от концентрации ИМК на единицу объёма проб их объём может колебаться от 1 до 10 м³ и более;
- глубинное шлиховое опробование на участках, перекрытых маломощными покровными и аллювиальными образованиями;
- увеличение информативности и представительности опробования за счёт извлечения ИМК размерностью 1–0,5 мм;
- максимальное расширение спектра изучаемых минералов тяжёлой фракции; наряду с ИМК, необходимо на качественном уровне (диагностика, физиографические особенности) анализировать другие минералы тяжёлой фракции – гидравлические спутники ИМК – для выяснения

условий седиментогенеза, возраста и эволюции ореолов, выявления признаков наличия других рудных полезных ископаемых, определения источников сноса обломочного материала, в том числе кимберлитов;

- экспрессные минералогические исследования непосредственно в процессе полевых работ для первичного изучения ИМК в целях оперативного принятия решений по дальнейшему опробованию и ориентировке текущих поисковых работ;
- совершенствование технологии полевого обогащения проб, в том числе глинистых разностей, для исключения потерь ИМК мелких granulометрических классов.

Стандартная шлиховая проба практически везде на Сибирской платформе представляет собой смесь минералов, имеющих разные первичные морфологические особенности, экзогенную историю, формы и степень экзогенных изменений и последовательность наложения на минерал тех или иных морфологических особенностей. Если кимберлитовый магматизм имеет полихронный характер и возможны существенные отличия вещественно-минералогических и геохимических особенностей кимберлитов разного возраста, то следует ожидать существенное расширение спектра минералов глубинного генезиса, требующих изучения. Во всём этом многообразии морфологии индикаторных минералов отражается сложная история формирования ореолов, расшифровка которой, а также реконструкция отдельных её этапов являются основной задачей лабораторно-аналитических исследований.

3. Ещё одна чрезвычайно значимая проблема опережающих геолого-геофизических и прогнозно-минерагенических работ – установление вещественной, в первую очередь минералогической и геохимической, специализации выделяемых рудных таксонов (зон, полей, узлов, участков рудогенеза), времени их активизации, уровня и интенсивности проявленности в геологическом разрезе, а также принадлежности к структурным элементам трансплатформенных и трансформных тектонических структур как основных источников рудного вещества.

Для решения этой проблемы и повышения комплексности и достоверности минерагенической оценки параметров, выделяемых по дистанционным данным таксонов, необходимо максималь-

ное расширение изучаемого перечня минералов, извлекаемых из геологических проб, полученных в ходе полевых исследований, и спектра современных аналитических методов их исследования. Сейчас же в большинстве случаев для исследования территории на наличие конкретного предмета поиска, например кимберлитов, из поисковых проб извлекается минимальный набор индикаторных минералов. Вследствие этого месторождения других полезных ископаемых могут быть легко пропущены.

На начальном этапе исследование минеральных ассоциаций из поисковых проб традиционно проводится минералогическими методами с визуальным отбором интересующих минералов под бинокулярным микроскопом. Такого рода работы актуальны для большинства видов твёрдых полезных ископаемых как в пределах древних кратонов, так и в окружающих их подвижных поясах. В пределах Сибирской платформы и её активизированных окраин особенно актуально изучение поисковых проб для выявления не только кимберлитовых, но и индикаторных минералов месторождений золота, платиноидов, редких металлов и редких земель (пироксид, колумбит, монацит и др.).

При изучении проб, к примеру, при алмазопоскоковых работах производится отбор преимущественно визуально легко диагностируемых индикаторных минералов кимберлитов, таких как алмаз, пироп, пикроильменит, хромит, хромдиопсид, оливин. Однако в качестве ИМК могут быть и другие минералы – циркон, апатит, хромистый рутил, муассонит, калиевый рихтерит. Критерии отбора определённых минералов в основном связаны с:

- предполагаемым минералогическим образом поискового объекта;
- трудозатратами на определение трудно диагностируемых минералов;
- наличием современной аналитической базы для получения важной, с точки зрения поисковых работ, информации из отдельных индикаторных минералов;
- наличием актуальных методов для обработки (мономинеральной термобарометрии для оценки мощности алмазоносной литосферы, классификационных диаграмм для определённых минералов в целях выяснения их петрогенетической принадлежности);
- наличием специалистов, способных грамотно интерпретировать данные, полученные с по-

мощью высокоточных аналитических методов.

Чтобы разобраться во всём многообразии морфологических особенностей минералов и получить объективный материал для реконструкции истории и условий формирования ореолов, в каждой пробе анализируется определённое количество характерных зёрен минералов, в максимальной мере отражающих особенности их морфологии. Необходимо изучить:

- первичные морфологические особенности (фрагменты овальной магматогенной поверхности, сколовые поверхности как результат коррозионного растрескивания, имеющиеся келифитовые каймы и корочки хлорита на пиропе, гидротермальный коррозионный рельеф на пиропе в разных формах его проявления, микропирамидальный рельеф на пикроильменитах и т.д.);
- механический износ зёрен в процессе формирования ореолов (визуально не фиксируется, слабый, средний, сильный, шероховатые механогенные поверхности, полированные механогенные поверхности, малые или большие радиусы закругления механогенных поверхностей);
- гипергенные изменения (кубоидный рельеф, каналы травления, кубоиды как устойчивая форма растворения, щели травления по межблоковым границам и др.) или их отсутствие;
- сочетание разных форм экзогенных изменений (износ докоррозионный и послекоррозионный, гипергенные изменения накладываются на механогенные поверхности или на первичные поверхности и т.д.).

Указанные морфологические особенности по-разному проявляются на минералах. Так, при прочих равных условиях механический износ пикроильменита более сильный, чем пиропе; пироп менее устойчив в условиях гипергенеза, чем пикроильменит; хромит более устойчив и механически, и физико-химически в сравнении с пиропом и пикроильменитом. Поэтому нужно исследовать все индикаторные минералы для характеристики их морфологических особенностей. Кроме того, необходимо задействовать методики использования минералов тяжёлой фракции терригенных пород как индикаторов палеогеодинамических обстановок [2].

На следующей стадии для построения минимально возможных дискриминационных диаграмм

с помощью рентгеноспектрального микроанализатора определяется химический состав минералов. Данная информация широко используется для минералогического районирования. Однако сейчас появились современные высокоскоростные, высокоточные, высокоразрешающие и, что особенно важно, дешёвые аналитические методы, которые позволяют существенно расширить комплекс исследуемых минералов и получать на порядок больше петрогенетической информации.

В настоящее время за рубежом крупными горными компаниями широко используется комплексная оценка минералов тяжёлой фракции из поисковых проб с привлечением современных высокоточных аналитических методов и автоматизированного машинного оборудования [6, 7 и др.]. Проводятся полный минералогический анализ проб и комплексное массовое исследование извлечённых из них минералов. В этом случае риск пропустить месторождение полезных ископаемых сводится к минимуму и появляется вероятность обнаружения проявлений полезных ископаемых, которые первоначально не рассматривались в качестве потенциально возможных на стадии составления поискового проекта.

К таким методам относится автоматизация процесса определения минеральных видов в стандартных шашках из эпоксидной смолы с применением сканирующего электронного микроскопа. В результате производится количественная оценка проб с детальной расшифровкой парагенетических ассоциаций, а также снимаются координаты с каждого зерна. Координаты используются на других приборах, на следующих стадиях исследования проб необходимо лишь автоматизировать процесс, что достаточно легко выполнимо. Кроме того, появляется возможность проводить анализ в автоматическом режиме и в ночное время, что значительно снижает его стоимость. Такой подход практикуется в компании Rio Tinto (устное сообщение заведующей аналитической лабораторией Сьюзи Эллу, 2016 г.). Возникающее при этом некоторое количество брака (до 5%) считается вполне приемлемым. И потом всегда можно переанализировать интересующие зёрна в ручном режиме.

На следующем этапе производится более надёжное определение химического состава (с помощью рентгеноспектрального микроанализатора) наиболее информативных, с точки зрения интерпретации петрогенетической информации, ми-

нералов. Используются уже определённые ранее координаты зёрен, что существенно ускоряет процесс исследования проб.

Другой высокоразрешающий, высокоточный, высокоскоростной и дешёвый метод – индуктивно-связанная плазменная масс-спектрометрия с лазерным пробоотборником (LAM-ICPMS) – в течение сравнительно короткого времени (~2,5 мин.) в зёрнах силикатов позволяет определить с высокой точностью содержание редких и рассеянных элементов [5]. Столько же времени понадобится для точечного установления U-Pb возраста (диаметр точки ~30–50 мкм) цирконов, рутилов, титанитов, апатитов и других минералов. По геохимическим характеристикам определённых минералов с использованием дискриминационных диаграмм в настоящее время определяются материнские породы источника и их петрогенетические характеристики. Датировка минералов даст исключительно важную информацию о возрасте предполагаемого объекта поиска – рудного тела, массива, жил, оруденения и т.д.

При необходимости получения изотопных характеристик объектов (Rb-Sr, Sm-Nd, Lu-Hf, Re-Os, O и др.) возможно применение как локальных методов анализа – SHRIMP, MC-LAM-ICPMS (для минералов с высокими содержаниями соответствующих элементов), так и термально-ионизационной масс-спектрометрии (TIMS) (для растворов препаратов). Однако данные виды анализов, как правило, намного дороже, требуют качественной пробоподготовки и больше времени, к примеру, для растворения проб и анализа.

С использованием данных полного минералогического анализа проб и результатов комплексного исследования минералов при опробовании больших территорий появляется возможность (с учётом их структурно-тектонического строения) выделения глубинных минерагенических зон и их спецификации по определённым рудным компонентам. С установлением возраста минерализации также становится возможным выяснение времени активизации упомянутых минерагенических зон или этапов их повторной реактивации. Комплексирование таких данных с имеющейся геологической, геофизической и геотектонической информацией позволяет проводить расшифровку геодинамических условий формирования минерагенических зон и делать прогноз о вероятных типах минерагенической специализации территории.

На основании результатов опробования базальных горизонтов осадочных отложений (керновых проб) можно говорить о наличии перекрытых или слепых рудных тел, которые крайне трудно обнаружить традиционными геолого-минералогическими методами.

Также необходимо шире применять физические методы исследования минералов, результаты которых могут быть учтены при изучении структурно-вещественного состояния минералов [1], но, главное, способствовать совершенствованию методов сепарации минералов в ходе обработки шлихоминералогических проб, что имеет первостепенное значение для повышения эффективности лабораторных работ и представительности анализируемых выборок минералов.

Принимая во внимание большое разнообразие современных аналитических средств изучения минерального вещества и нередко достаточно высокую их стоимость, необходимо на этапе подготовительных работ заранее намечать для включения в проект наиболее перспективный порядок лабораторно-аналитических исследований, учитывать требования к отбираемым на исследования минералам, их представительному количеству и другим параметрам для оптимального планирования пробоотбора. Современное высокотехнологическое аналитическое оборудование имеется в ФБУ ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) и в других крупных исследовательских центрах при федеральных университетах (гг. Казань, Томск, Новосибирск и др.).

Успешное преодоление вышеописанных проблем, наряду с совершенствованием и актуализацией к современному уровню прогнозно-поисковых технологий, связывается нами с переходом к двухэтапной реализации комплекса опережающих геолого-геофизических или прогнозно-минерагенических работ.

На первом этапе (подготовительный период) к началу опережающих геолого-геофизических работ или геолого-минерагенического картирования должны максимально полно решаться следующие задачи:

- оценка общей геологической и геофизической изученности территории, определение проблемных вопросов по её геологии, структурно-тектоническому строению, минерагении и легендам прогнозной или прогнозно-минерагенической карт;

- анализ изученности и опосредованности с обобщением и оценкой полноты и надёжности специализированной геолого-геофизической и геолого-минералогической информации;
- создание электронных банков данных с актуализацией геолого-поисковой информации и данных аналитических методов, представление их в геоинформационной среде;
- подготовка по результатам сбора и обобщения имеющихся пространственных данных сводных матриц на площадь работ с необходимым периферическим перекрытием;
- подготовка предварительных макетов актуализированной геологической карты, карты районирования по условиям ведения поисков, регистрационной карты искомого полезного ископаемого и предположительно связанных с ним признаков рудоносности;
- выделение опорных площадей для полевых исследований с определением оптимальной методики и технологической последовательности работ.

На втором этапе опережающих геолого-геофизических работ или геолого-минерагенического картирования выполняются полевые геолого-геофизические работы и блок современных аналитических и специализированных тематических работ с последующим созданием прогнозной или прогнозно-минерагенической карты проектного масштаба. При этом за первые два года работ обеспечивается локализация площадей, а в заключительный год – их детализация в необходимом объёме, что сейчас, при трехлётнем цикле, является практически недостижимой целью.

Помимо этого, при локализации и оценке прогнозных ресурсов следует предусмотреть рекомендации оптимального комплекса полевых и аналитических работ, необходимых для обнаружения и вскрытия коренных месторождений алмазов или других полезных ископаемых, и формирование максимально полного пакета данных о перспективности участков в целях усиления инвестиционной эффективности проводимых работ.

Двухэтапный подход позволяет существенно увеличить площадь территорий, вовлекаемых в изучение в рамках одного проекта. При производстве работ следует сделать акцент на следующих задачах и направлениях исследований.

1. Актуализация пространственных типов данных (геопотенциальные поля, структурные карты,

цифровые орогидрографические данные, МДЗ и т.п.) и создание соответствующих матричных баз данных, охватывающих всю площадь работ с перекрытием её периферии. Полученные данные должны обеспечить максимально возможную (исходя из реальной изученности площади) равномерную достоверность интерпретационных и прогнозных построений, создающих базовый структурно-тектонический каркас территории, быть пригодными для хранения и использования в течение длительного времени, в случае необходимости должны обеспечить плавный переход к детализации отдельных участков в более крупных масштабах.

2. Актуализация и подготовка электронных банков данных, специализированных по основному виду (видам) твёрдых полезных ископаемых, ожидаемому на площади с перспективой их долговременного применения и пополнения.

3. Выявление зон и участков рудогенеза, в том числе элементов трансплатформенных и трансформных тектонических структур, как основных источников рудного вещества с установлением их специализации, времени активизации и других параметров на основе современных аналитических методов изучения минерального вещества.

4. Максимальное расширение изучаемого перечня минералов, извлекаемых из геологических проб, отобранных в ходе полевых исследований, и спектра аналитических методов их исследования в целях повышения комплексности оценки параметров выделяемых минерагенических таксонов (зон, узлов, полей) по аналогии с работами по комплексной оценке рудного потенциала больших по площади геологических районов, выполняемыми крупными зарубежными горно-геологическими компаниями.

Решение перечисленных задач в рамках производства опережающих геолого-геофизических или прогнозно-минерагенических работ позволит существенно повысить уровень достоверности прогнозной и прогнозно-минерагенической оценки больших территорий и заложить основы для быстрого перехода к проведению работ более детальных стадий в пределах локализованных рудных таксонов (зон, полей, узлов, кластеров).

Учитывая, с одной стороны, большой объём накопленной по любому региону Сибирской платформы и её активизированным окраинам очень разнородной, разномасштабной и разноплановой геолого-геофизической информации, требующей

актуализации и сведения в базы данных, а с другой – общую удалённость и сложную транспортную доступность региона, необходимы тщательный подход к выбору ключевых участков полевых работ, обоснование эффективной методики исследований и оптимальных логистических решений. Поэтому опережающие геолого-геофизические или прогнозно-минерагенические работы целесообразно разбивать на два этапа:

- подготовительный период, включающий сбор и актуализацию данных, создание электронных баз, дистанционных основ и выделение ключевых участков, продолжительностью 2–2,5 года;
- собственно опережающие геолого-геофизические или прогнозно-минерагенические работы с выполнением комплекса полевых, лабораторно-аналитических, камеральных и специализированных (по видам твёрдых полезных ископаемых) работ с составлением итоговой карты и отчёта продолжительностью 3 года.

Двухэтапная реализация опережающих геолого-геофизических или прогнозно-минерагенических работ основана на:

- охвате в рамках одного проекта больших минерагенических таксонов типа алмазоносного района и других соразмерных минерагенических единиц;
- максимально широком использовании качественно подготовленных пространственных данных;
- расширении пространства прогнозирующих характеристик и предпосылок;
- целевом полевом опробовании опорных участков;
- расширении комплекса изучаемых минералов;
- увеличении спектра современных аналитических методов исследования минералов;

- усилении инвестиционной эффективности работ.

Всё это позволит расширить возможности и повысить эффективность опережающих и прогнозно-минерагенических работ на обширных и труднодоступных территориях Сибири и Арктики, требующих актуализации их перспектив и переоценки прогнозных ресурсов на новом уровне технологий и геологических знаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ибрагимов Ш.З., Мишенин С.Г., Осин Ю.Н.* Выявление зависимости состава и условий образования пикроильменитов трубки Зарница (Якутия) по данным термомангнитных исследований // Геология и геофизика. 2014. № 3. С. 505–515.
2. *Малиновский А.И., Маркевич П.В., Тучкова М.И.* Тяжёлые обломочные минералы терригенных пород как индикаторы геодинамических обстановок в палеобассейнах орогенных областей востока Азии // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. № 8. С. 97–111.
3. *Мишенин С.Г.* Проблемы прогнозирования коренных источников алмазов с использованием пространственных данных // Конференция «Алмазы Сибири и арктических регионов мира – история, настоящее и будущее», VI Междунар. горно-геологический форум «Мингео Сибирь 2012», Тезисы докладов. Красноярск, 2012. С. 89–98.
4. *Прусакова Н.А., Громцев К.В.* Локализация алмазоперспективных территорий европейской части России на основе глубинного геолого-геофизического районирования // Руды и металлы. 2011. № 3–4. С. 53–64.
5. *Malkovets V.G., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Wood B.J.* Diamond, subcalcic garnet, and mantle metasomatism: kimberlite sampling patterns define the link // *Geology*. 2007. Vol. 35. P. 339–342.
6. *Mange M.A., Wright D.T.* Heavy minerals in use // *Developments in Sedimentology*. 2007. Vol. 58.
7. *Quantitative Mineralogy and Microanalysis of Sediments and Sedimentary Rocks* / P.Sylvester, ed. // *Mineralogical Association of Canada Short Course*. 2012. Vol. 42.

PROBLEMS OF ADVANCED GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL AND FORECASTING-MINERAGENIC STUDIES ARRANGEMENT AND IMPLEMENTATION IN REMOTE SIBERIAN AND ARCTIC REGIONS

S.G.Mishenin¹, A.I.Dak¹, V.G.Malkovets², Yu.V.Utyupin¹, G.Z.Yavorskaya¹, Yu.T.Yanygin¹
(¹ SNIIGIMS, ² IGM SB RAS)

Methodical issues of forecasting-mineragenic studies resulting in identification of confirmed and developed areas for diamond and other nonfuel mineral prospecting are discussed. Main aspects of 3D data use, field heavy concentrate mineralogical works and analytical mineral studies are analyzed. The need of two-stage forecasting-mineragenic studies is substantiated.

Keywords: forecasting-mineragenic studies, diamond prospecting, forecasting, heavy concentrate mineralogical sampling, 3D data, taxon, diamond.

