УДК 550.84

**А. А. ГОЛОВИН, В. А. КИЛИПКО, Л. А. КРИНОЧКИН (ИМГРЭ),
Н. В. МЕЖЕЛОВСКИЙ (Геокарт), Т. В. ЧЕПКАСОВА (Роснедра)**

СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ РАБОТ

Рассмотрены технология и результаты региональных геохимических работ (РГХР). Показано, что прямые количественные геохимические методы и системный подход играют важную роль в повышении геологической информативности и прогнозной эффективности Госгеолкарт новых поколений. Сформулированы актуальные проблемы РГХР и намечены пути их решения.

Ключевые слова: *региональные геохимические работы, многоцелевое геохимическое картирование, геохимические основы, прогнозные геохимические модели, критерии геохимического прогнозирования.*

The technology and the results of regional geochemical work (RGCW) are considered. It is shown that direct quantitative geochemical methods and system approach play an important role in enhancing the geological information content and prediction efficiency of the state geological maps of new generation. Current problems of RGCW are considered and ways of solving them are outlined.

Key words: *regional geochemical work, multipurpose geochemical mapping, geochemical basis, predictive geochemical models, criteria for geochemical forecasting.*

Региональные геохимические работы (РГХР) направлены на геохимическое обеспечение геологического изучения недр (сводного и обзорного геологического картографирования, геологического картографирования м-ба 1 : 1 000 000, геологической съемки м-ба 1 : 200 000 и др.) и нацелены на многофункциональное исследование территории России и ее континентального шельфа, повышение качества, комплексности, информативности и прогностической эффективности геологических карт нового поколения. Они также призваны повышать достоверность локализации и прогнозной оценки площадей, перспективных на поиски полезных ископаемых, получения оптимальной объективной информации об экологическом состоянии территории страны, необходимой для обеспечения безопасности и комфортности среды проживания человека и развития экологически конкурентоспособных производств, включая объекты недропользования [3, 10].

РГХР базируются на утвержденной в 1991 г. отраслевой программе «Геохимическая карта России». Стратегию работ по разномасштабным региональным геохимическим исследованиям позволяет определить созданный в 1994–2001 гг. в ИМГРЭ комплект карт обзорного масштаба, основанный на системном подходе и содержащий комплексную информацию по ландшафтному, экологическому, геофизическому, тектоническому, геохимическому и металлогеническому районированию территории России [7].

Задачи РГХР по направлениям региональных работ [1, 3, 6]:

Геологические

– выявление геохимической специализации геологических образований для их типизации, расчленения, корреляции и уточнения границ;

– установление закономерностей распределения во времени и пространстве геохимически специализированных геологических комплексов;

– выявление геохимической зональности структурно-формационных зон;

– уточнение региональных кларков химических элементов (х.э.);

– оценка, реставрация и типизация геодинамических условий формирования геологических комплексов;

– создание геохимических основ Госгеолкарт-1000/3 и -200/2 для повышения их достоверности и информативности.

Прогнозно-минерагенические

– оценка металлогенической специализации и потенциальной рудоносности структурно-формационных зон;

– геохимическое и металлогеническое районирование территорий;

– уточнение перспектив известных и выделение новых потенциальных металлогенических зон, рудных районов и узлов, определение их рудно-формационной принадлежности;

– комплексная количественная оценка минерагенического потенциала вновь выделенных перспективных рудных районов и узлов на благородные, цветные, редкие, черные металлы, алмазы, нефть и газ;

– разработка рекомендаций по проведению ГРР на выявленных высокоперспективных площадях.

Экологические

– оценка потенциальной геохимической эндемичности регионов;

– оценка загрязнения окружающей среды токсичными х.э. и соединениями с выделением экологически неблагоприятных площадей;

– проведение районирования территории по уровню загрязнения и степени экологической опасности;

– установление вероятных источников загрязнения;

– создание картографических основ комплексных экологоресурсных кадастров территорий.

С 1995 г. основным видом РГХР является создание цифровых комплектов геохимических основ

© А. А. Головин, В. А. Килипко, Л. А. Криночкин, Н. В. Межеловский, Т. В. Чепкасова, 2013

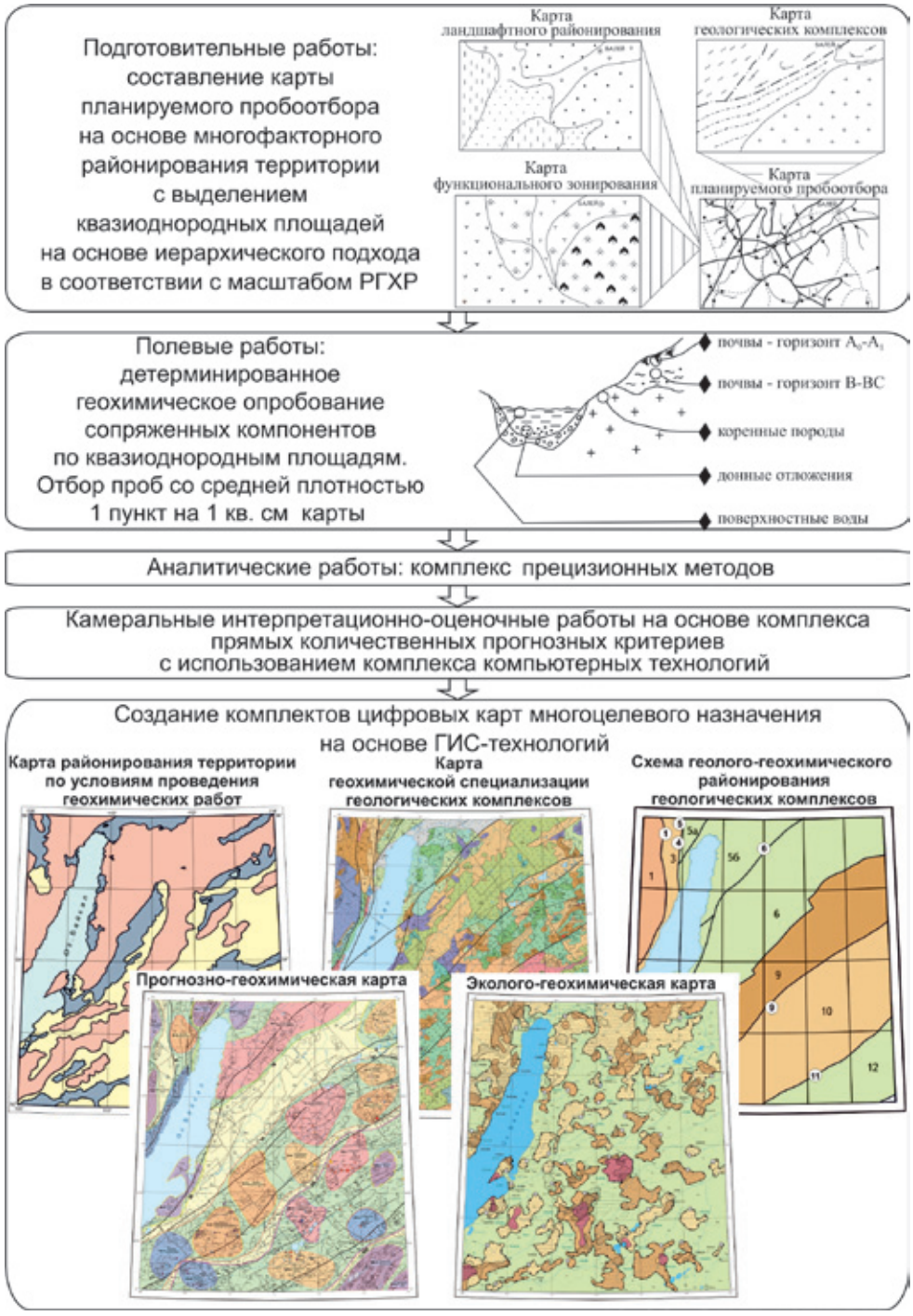

Рис. 1. Геохимические основы Госгеолкарты-1000/3 по инновационной технологии многоцелевого геохимического картирования (МГХК)

Госгеолкарт новых поколений м-бов 1 : 1 000 000 (ГХО-1000) и 1 : 200 000 (ГХО-200). ГХО включают оптимальный комплект цифровых карт, схем, сопровождающих их кадастров, организованных в тематические базы и полистные банки данных. Эти материалы содержат оптимальный комплекс разнообразной геохимической информации, позволяющий на количественной основе максимально повысить информативные и прогностические свойства геологических карт [10].

Геохимические основы создаются по двум технологиям: многоцелевое геохимическое картирование (МГХК) и сбор, систематизация и обработка ретроспективной геохимической информации.

Как показал почти двадцатилетний опыт, наиболее информативны ГХО, созданные по инновационной технологии МГХК, позволяющей решать весь комплекс геологических, прогнозно-минерагенических и эколого-геологических задач. Эта технология разработана и апробирована в начале 90-х годов прошлого века в ИМГРЭ с участием ряда НИИ и ГРЭ. Она существенно отличается от традиционных технологий геохимических работ [8, 9, 11].

В комплект обязательных карт ГХО входят следующие карты (рис. 1):

Карта районирования территории по условиям проведения геохимических работ позволяет обосновывать рациональный комплекс геохимических

методов, оценивать достоверность ранее выполненных геохимических работ, интерпретировать результаты геохимических работ. Карта создается на ландшафтной основе и позволяет также изучать геохимические ландшафты и связанные с ними россыпные месторождения.

Карта геохимической изученности содержит информацию о видах, масштабах, контурах, времени проведения и качестве ранее выполненных геохимических работ. Она используется для планирования объемов и видов проектируемых РГХР.

Карта геохимической специализации геологических комплексов составляется на основе соответствующих геологических карт и отражает геохимические характеристики всех изученных геологических подразделений (осадочные, магматические, метаморфические комплексы и др.) в виде условных цветовых соотношений сумм кларков концентраций групп х.э. (литофильных, халькофильных и сидерофильных).

Схема геолого-геохимического районирования геологических комплексов отображает геохимические характеристики структурно-формационных зон, их геохимическую зональность, геохимическое и металлогеническое районирование территорий.

Прогнозно-геохимическая карта отображает рудогенные аномальные геохимические поля (АГХП) и рудные объекты, типизированные по рудно-формационной принадлежности и ранжированные в соответствии с иерархией металлогенических подразделений (металлогенических зон и рудных районов – ГХО-1000, рудных районов и узлов – ГХО-200).

Эколого-геохимическая карта отображает ареалы зон, районов и узлов аномально высоких содержаний токсичных х.э. с оценкой состава и степени загрязнения ими окружающей среды применительно к функциональному зонированию изучаемой территории по характеру ее хозяйственного использования. Карта позволяет решать весь комплекс эколого-геохимических задач [6]. Сопровождающие ее кадастры, тематические базы и банк первичной геохимической информации дают возможность уточнять кларки коренных горных пород, оценивать природные региональные и локальные геохимические фоны всех изученных компонентов геологической среды и решать весь комплекс геологических, прогнозно-минерагенических и экологических задач.

ГХО-1000 по состоянию на 01.01.2013 созданы на 102 листах международной разграфки (рис. 2), что покрывает 60,6% площади континентальной части России. По инновационной технологии МГХК-1000 они составлены только по 34 листам. Остальные основы подготовлены по ретроспективным данным. Степень обеспеченности созданных и составляющихся листов Госгеолкарты-1000/3 довольно высокая – 75,5%.

Обеспеченность геохимическими основами ГК-200/2 крайне неудовлетворительна. В 2000–2011 гг. только на 13,5% (83 листа) ГХО ГК-200/2 апробированы и утверждены Геохимической секцией НРС. Акватории России, включая континентальный шельф и острова, геохимически изучены крайне фрагментарно.

Однако проведенные РГХР позволили создать отраслевой банк данных в области региональной

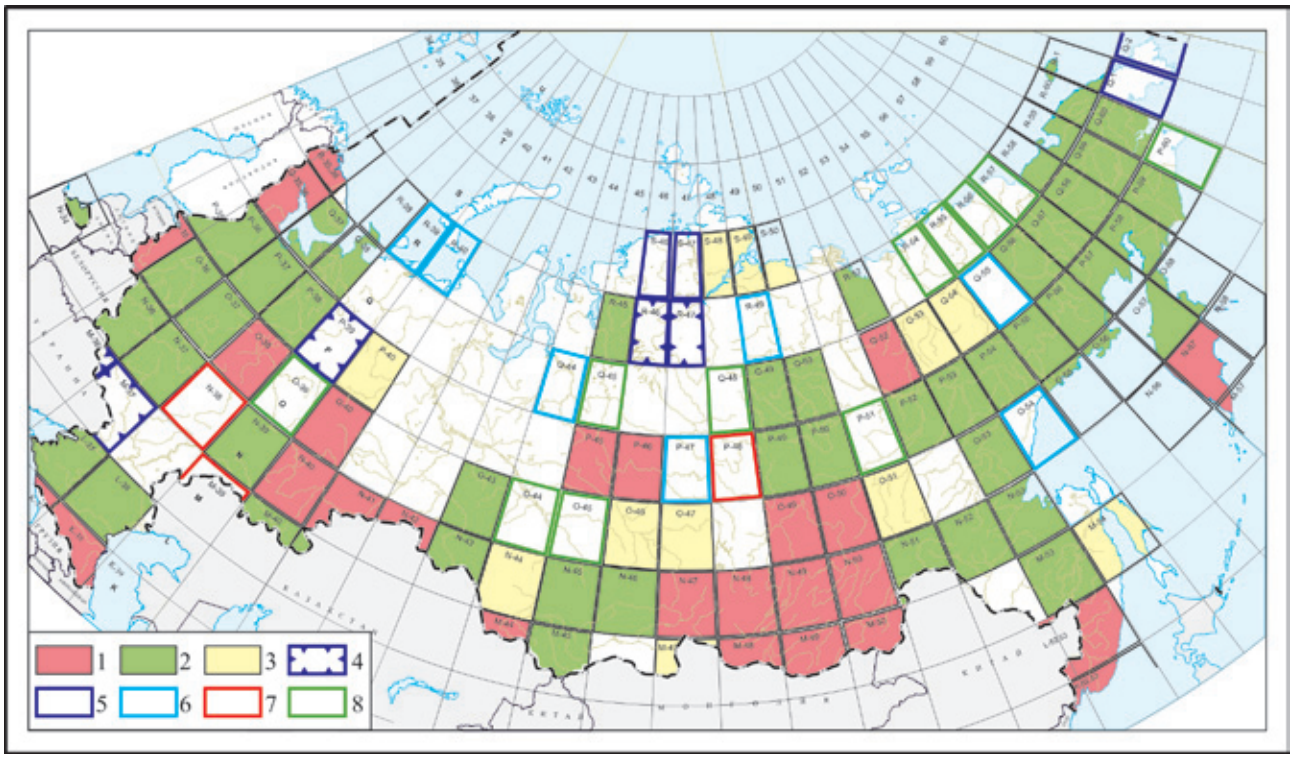

Рис. 2. Состояние подготовки геохимических основ Госгеолкарты-1000/3 и направления работ до 2014 г. (на 01.10.2012)

1–3 – ГХО-1000, созданные и принятые ГХС НРС: *1* – завершенные по технологии МГХК, *2, 3* – завершенные по ретроспективным данным (*2* – при удовлетворительном, *3* – при недостаточном качестве информации); *4, 5* – ГХО, создаваемые в 2011–2013 гг. (*4* – по технологии МГХК, *5* – по ретроспективным данным); *6, 7* – ГХО, создаваемые в 2012–2014 гг. (*6* – по ретроспективным данным с геохимическим доизучением, *7* – при геохимическом доизучении территорий); *8* – ГХО, планируемые на 2014–2016 гг. (геологическая оценка геохимической изученности и подготовка геологического обоснования работ по созданию ГХО ГК-1000/3)

геохимии, включающий следующие тематические базы данных:

– модели минерагенических таксонов общим объемом 383 ед. хранения;

– геохимическая изученность – 3000 ед. хранения;

– геохимических основ из двух блоков – первый, картографический, блок включает 217 номенклатурных листов (м-ба 1 : 1 000 000 – 130, м-ба 1 : 200 000 – 87 ед. хранения). Общий объем карт по листам 1738 ед. хранения (м-ба 1 : 1 000 000 – 1060, м-ба 1 : 200 000 – 678); второй, аналитический, блок включает 1 851 850 ед. хранения;

– эталонные рудные объекты разного ранга (рудные узлы и месторождения) общим объемом 323 ед. хранения;

– перспективные геохимические аномалии общим объемом 8000 ед. хранения.

Основные результаты РГХР м-бов 1 : 1 000 000–1 : 200 000 (по состоянию на конец 2012 г.).

Составлен комплект карт обзорного масштаба, содержащий комплексную информацию по тектоническому, ландшафтному, геохимическому, геофизическому, металлогеническому, эколого-геологическому районированию территории России, являющийся основой для постановки региональных геохимических работ.

Созданы комплекты цифровых геохимических основ Госгеолкарты-1000/3 на площадь 10 355 тыс. км^2 (102 листа), позволяющие повысить информативность и прогностические свойства мелко-среднемасштабных геологических карт новых поколений и обеспечить прирост геолого-геохимической и эколого-геохимической информации на 60,6% территории России.

Выделены потенциально высокоресурсные минерагенические зоны и рудные районы, перспективные на выявление крупных месторождений энергетического сырья, благородных, редких, цветных и черных полезных ископаемых.

Создан задел для проведения поисковых работ м-бов 1 : 200 000–1:50 000 с перспективами выявления крупных и уникальных месторождений стратегического, дефицитного и высоколиквидного минерального сырья.

Проведена экологическая оценка, выявлены зоны неудовлетворительного эколого-геохимического состояния во всех федеральных округах России на территориях различного хозяйственного освоения, разработаны рекомендации по реабилитации экологически неблагоприятных территорий.

Создана отраслевая информационно-аналитическая система (в форме ГИС ArcView) сбора, хранения, обработки и представления геохимической информации на основе полистных банков данных.

Разработан комплект нормативно-методических документов, регламентирующих проведение РГХР и использование их результатов.

В 2009 г. ИМГРЭ совместно с МЦГК Геокарт завершил важнейшее обобщение всей накопленной геохимической информации, прежде всего по ГХО-1000, а также ретроспективным разномасштабным и разнометодным геохимическим и шлиховым съемкам всей территории России. ***Геохимическая карта России*** м-ба 1 : 2 500 000 [4] составлена на структурно-формационной основе и содержит геохимические характеристики структурно-формационных комплексов (СФК), эталонные месторождения и площади высокоресурсных АГХП ранга металлогенических зон и геохимических (рудных) районов с оценкой их минерагенического потенциала на приоритетные виды минерального сырья. Для АГХП ранга геохимических районов установлена тесная статистическая связь между составом локализованных в их полях месторождений и типом геохимической специализации СФК. Выявлена также отчетливая геохимическая зональность АГХП различных рангов: на платформах – преимущественно концентрическая и для складчатых областей – сочетание разных типов (концентрического, линейного, ритмического и др.). Выделено, проинтерпретировано и оценено 1679 аномальных геохимических площадей в ранге геохимических районов. Из них 392 АГХП отнесены к категории высокоперспективных.

Среди выявленных высокоперспективных площадей выделено 90 первоочередных потенциально перспективных на обнаружение крупных месторождений в Балтийской (Mo, Au), Алдано-Становой (Mo, Ni, Co), Западно-Сибирской (U, Mn), Байкало-Витимской (Mo, Mn), Таймыро-Североземельской (Au, Ag, Cu, Ni) и других геохимических провинциях. Суммарный ориентировочный ресурсный потенциал этих районов: Au 6 600, Ag 49 000, Pt 300 т; Cu 8, Zn 10, Pb 10 млн т; Mo 400, Sn 2100, W 900, U 700, Hg 200, Be 60, Bi 30 тыс. т; алмазов 800 млн карат. Установлена возможность приращения потенциалов Sr на 500, U, Hg, Bi практически на 100, Au, Ag, Pt, Sn, W, Mo, алмазов, Be на 50% и более.

Широкое развитие АГХП, перспективных на разные виды полезных ископаемых, создают основу для укрепления ЦЭРов. Локализованные в них потенциальные высокоресурсные геохимические (рудные) районы, перспективные на выявление месторождений золота, урана, олова, молибдена, вольфрама и др., в ближайшем будущем обеспечат прирост и восполнение ресурсной базы ЦЭРов за счет открытия новых крупных месторождений.

Геохимическая карта является фундаментальным обоснованием направлений региональных работ прежде всего на выявленных слабоизученных геохимическими методами высокоперспективных территориях [4].

Несмотря на существенные результаты РГХР, имеет место достаточное количество реальных проблем, снижающих эффективность рассматриваемых работ.

Основные проблемы РГХР [3].

Отсутствие прорывных технологий геохимического изучения закрытых территорий.

Резкое снижение темпов прироста реальной геохимической изученности территории России м-ба 1 : 200 000, практически полное прекращение в последние годы производства опережающих геохимических съемок среднего масштаба.

Низкие геологическая информативность и прогностическая эффективность ГХО, созданных на основе использования ретроспективных данных и в сопровождающем региональные работы варианте.

Недостаточная информативность применяемых сегодня приближенно-количественных методов анализов геохимических проб, высокая стоимость прецизионных лабораторно-аналитических работ.

Слабая обоснованность выделения перспективных площадей из-за отсутствия их обязательных заверок, низкого качества аналитических данных и нередко недостаточной квалификации исполнителей.

Крайне слабое и нередко неквалифицированное использование материалов ГХО при создании комплектов ГК-1000/3 и ГК-200/2 и обосновании рекомендаций на проведение ГРР последующих стадий, отсутствие в комплектах ГК важнейшей карты – прогнозно-геохимической.

Слабость связи и преемственности между результатами региональных и поисковых работ.

Отсутствие единого цифрового геохимического пространства (покрытия) территории России м-ба 1 : 2 500 000, которое должно быть сформировано на базе геохимического ГИС-Атласа России м-ба 1 : 1000 000, обеспечивающего функционирование общей системы информационной поддержки принятия управленческих решений на федеральном и территориальном уровнях.

Очевидно, что большинство перечисленных проблем связано с правовыми, финансовыми, организационно-методическими и кадровыми причинами.

Порочная (но основанная на существующих правовых нормах) практика ограничения проведения любых ГРР трехлетним сроком, действующее положение о конкурсах (закон о закупках товаров, услуг) делают краеугольным камнем ГРР не результаты, качество, достоверность работ и их технологичность, а проведение их с наименьшими затратами в минимальные сроки. Отсюда невозможность полного перехода на прецизионные высокочувствительные многокомпонентные инструментальные методы анализа геохимических проб, вынужденный отказ от составления ГХО путем геохимического картирования на основе технологии МГХК, практическая невозможность проведения заверочных работ на площадях выявленных АГХП, оцененных как перспективные, крайне низкие объемы опережающих РГХР м-ба 1 : 200 000 из-за ограниченных сроков работ по проектам и недостаточных объемов финансирования объектов.

Организационно-методические причины – инертность, консерватизм, недостаточность волевого импульса со стороны руководителей различного уровня и специалистов. Такие проблемы довольно легко могут быть решены, были бы воля и желание. Необходимы резкое повышение полноты использования геохимической информации, содержащейся в комплектах карт ГХО, включение в состав комплектов ГК-1000/3 и ГК-200/2 прогнозно-геохимической карты; проведение любых региональных работ только на листах, обеспеченных геохимической основой; усиление связи и преемственности между результатами региональных и поисковых работ, прежде всего анализ и выбор высокоперспективных площадей, выявленных и заверенных в результате предшествующих в первую очередь РГХР; включение в число поисковых конкурсных объектов площадей, перспективность которых подтверждена полным комплексом благоприятных геохимических признаков и геолого-геофизических предпосылок.

Важная часть повышения эффективности РГХР – укрепление кадрового состава специалистов. На сегодняшний день имеет место весьма печальный факт. За последние 20 лет количество докторов наук в ИМГРЭ уменьшилось на 39, а кандидатов на 58%. Если докторов наук в возрасте старше 60 лет в 1991 г. было 61, то в 2010 г. их стало 100% (кандидатов наук соответственно 27,5 и 63,6%). Первая причина – резкое старение специалистов, так как молодых специалистов не устраивает крайне низкая оплата труда. Вторая причина – крайне низкий уровень финансирования НИОКР и ОМР. А как следствие застой в области прикладной геохимии и геологии в целом. Необходимы также организация постоянного повышения профессионального уровня исполнителей-геохимиков и качества научно-методического руководства, воссоздание института кураторов, возобновление постоянно действующих курсов повышения квалификации.

Снижение эффективности РГХР объясняет крайне ***медленное решение многих собственно научно-методических проблем*** геохимии. Для их ускорения необходимы:

– разработка научных основ теории аномальных геохимических полей;

– изучение физико-химических механизмов и процессов формирования наложенных ореолов;

– актуализация современных прецизионных методов геохимического изучения, геологических комплексов и повышение на этой основе объективности знаний об их дифференциации, типизации, расчленении и корреляции, геодинамических условиях формирования, потенциальной рудоносности и металлогенической специализации;

– создание критериальных моделей разноранговых АГХП основных рудно-формационных типов объектов для различных геологоструктурных обстановок и ландшафтно-геохимических условий и разработка новых эффективных геохимических критериев их прогноза и поисков;

– проведение районирования территории страны по технологиям ведения геохимических работ;

– развитие и повсеместное внедрение прецизионных высокочувствительных многокомпонентных инструментальных методов анализа геохимических проб;

– разработка инновационных технологий геолого-геохимического прогнозирования объектов минерального сырья в сложных геолого-минерагенических и ландшафтно-геохимических условиях (платформы, шельф, прогнозирование месторождений углеводородов, алмазов и др.) на основе созданных критериальных моделей, прецизионных аналитических методов, современных информационно-компьютерных методов и новых технических средств выявления и локализации полей физико-химической неоднородности Земли;

– разработка, апробация и внедрение эффективных технологий заверки аномальных геохимических полей при РГХР;

– разработка компьютерных технологий комплексирования геолого-геохимических, геофизических методов и данных дистанционного зондирования;

– актуализация и разработка новых нормативно-методических документов по РГХР.

По некоторым из перечисленных задач исследования ***получены интересные, во многом основополагающие научные данные.***

В результате действия разновременных (до-, син- и пострудных) процессов на различных уровнях земной коры формируется иерархическая система аномальных неоднородностей состава и состояний горных пород. Эти неоднородности отражаются прежде всего в наблюдаемых закономерных сочетаниях положительных и отрицательных геохимических полей. Их структура определяется набором условно однородных элементов, которые в свою очередь на более высоких иерархических

уровнях состоят из более мелких подобных структурных элементов (согласно фрактальным свойствам самоорганизующихся природных систем).

Зональная структура является имманентным фундаментальным свойством (геохимическим законом) неоднородности разноуровневых АГХП. Выявляемые неоднородности геохимических полей и их взаимовлияние отражаются в виде серии соподчиненных классов АГХП [2].

Петрогенная конформная геохимическая зональность указывает на дифференциацию породообразующих систем и отображается показателями халькофильности, сидерофильности и литофильности. На крупных иерархических уровнях конформная зональность выявляет крупные структуры – границы минерагенических поясов, мегапровинций, провинций, областей, субпровинций, мегазон, зон и бассейнов (шовные, надвиговые, кольцевые, линеаментные и др.). Как правило, эти структуры (различного порядка) связаны с субдукционными и плюмовыми (внутриплитовыми) процессами, которые определяют локализацию минерагенических таксонов, их специализацию, контрастность и асимметрию.

Характерные черты геохимической зональности рудогенных систем определяются следующими факторами:

– свойствами химических элементов, образующих конкретную рудогенную и петрогенную систему;

– соотношениями их кларков;

– временем функционирования системы, количеством энергии, затраченной на ее становление;

– соотношениями масс вещества, вовлеченного в этот процесс;

– длительностью сохранения векторов движения потоков энергии и вещества;

– степенью дифференциации вещества в одноранговых рудогенных и петрогенных системах;

– палеогеодинамической историей.

Для геохимических полей с крупным и уникальным металлогеническим потенциалом характерна отчетливо выраженная зональность, проявляемая в общей упорядоченности структуры ореолов, в закономерном сочетании полей привноса и выноса х.э., обусловленном их асимметричной дифференциацией в направлении движения рудообразующих растворов. Геохимическая зональность ореолов проявляется в смене полей ассоциаций элементов-индикаторов, в концентрациях, размерах аномальных полей элементов и их соотношениях, в изменении характера и количества корреляционных связей элементов. Контрастность геохимической зональности возрастает от систем глобального ранга к локальным.

Для положительных аномальных полей высокоресурсных объектов также подтверждено характерное для них существенное накопление низкокларковых элементов (As, Sb, Ag, Cd, Ce, Li, Be, Cs, U, Tl и др.), распределение которых довольно часто не рассматривается из-за отсутствия значимого распознания применяемыми аналитическими методами.

Геохимический состав месторождений и связанных с ними АГХП соответствуют петрохимическому типу преобладающей геохимической специализации геологических образований, в которых они локализованы. Эта закономерность возрастает от глобального уровня к территориальному и локальному.

В полной структуре АГХП, которая характерна преимущественно для рудных районов, узлов и полей с крупными запасами металлов с учетом многих факторов, дифференциация элементов в направлении движения рудообразующих растворов от тыловых к фронтальным зонам ореолов представлена определенным рядом геохимической зональности. Он отражает результаты рециклинга рудогенных и петрогенных х.э., приведшего как к образованию руд и окаймляющих их первичных ореолов, так и к гидротермально-метасоматическому изменению вмещающих пород (ряд отображает только положительные аномальные концентрации х.э.): **V, Mn, Cr, Co, Ni** (сидерофилы) → **Y, Be, TR, Zr, Nb** (редкометалльные литофилы) → **W, Sn, Mo** (литофилы) → **Cu, Zn, Pb** (среднекларковые халькофилы) → **Au, Bi, Ag, As, Sb, Hg** (низкокларковые халькофилы) → **Ba, Sr, Na, Ca** (литофилы) → **V, Mn, Cr, Ni, Sc** (сидерофилы).

Известные высокоресурсные месторождения полиметаллов и железа (уникальные, очень крупные и крупные) чаще всего локализованы в зонах преимущественно сидерофильного и халькофильного состава, высокоресурсные месторождения редких металлов и золота проявлены в существенно литофильных, иногда в литофильно-халькофильных зонах.

Практическое применение результатов научных иссследований.

Детерминированное опробование оптимального комплекса компонентов среды по технологии МГХК позволяет надежно выявлять аномальные геохимические поля в разных ландшафтно-геохимических обстановках. Обязательным условием представительности и достоверности такого опробования является предварительное многофакторное районирование изучаемой территории с выделением квазиоднородных площадей [3, 8, 9, 11]. При подобном опробовании даже при относительно редкой сети выявляются значительные по размерам площадей АГХП высокоресурсных геохимических (рудных) районов, узлов и полей. Это подтверждено в Приморье, Карело-Кольском регионе, Рудном Алтае и многих других районах.

При выделении из отобранных проб и исследовании сверхтонкой, тяжелой, электромагнитной фракций и подвижных форм х.э. значительно увеличивается эффективная глубинность геохимического картирования. По результатам МГХК-1000 по юго-западной части Русской платформы (лист M-(36),37), где мощность платформенного чехла повышается с ЮЗ на СВ от 100 до 300 м, по результатам ICP MS кислотных вытяжек из почв выявлены с поверхности контрастные АГХП никеля и меди. Две такие аномалии совпадают с проекцией мелких медно-никелевых месторождений, локализованных в породах фундамента. Кроме того, выявлено АГХП того же состава, но гораздо большей площади и контрастности там, где не известны медно-никелевые объекты.

Значительные перспективы связаны с изучением адсорбированной формы углеводородных газов в почвах на платформенных территориях. Возможность прогнозирования углеводородного сырья подтверждена результатами МГХК-1000 по территории листа N-40. Здесь прогнозирование углеводородных месторождений проведено с изучением адсорбированной формы углеводородных газов (УВГадс) и наложенных литохимических ореолов рассеяния. Исследовались УВГадс метана и его

гомологов. Мигрируя к поверхности, они сорбируются и надежно удерживаются коренными породами, рыхлыми отложениями, почвами и донными осадками, сохраняя информацию о газовом поле неопределенно долгое время.

Газы от нефтегазовых залежей образуют специфические по составу и структуре (кольцевые и сводово-кольцевые) аномалии. Спектр УВГадс углеводородных залежей характеризуется утяжелением состава углеводородов и положительным значением тангенса угла наклона тренда нафтивности (УТН). За пределами залежей (на флангах) доминируют легкие гомологи и развиты аномалии типа разгрузки вод с отрицательными значениями тангенса УТН. Для фоновых областей характерны малые значения тангенса УТН обоих знаков; здесь нет ярко выраженных тенденций нарастания содержаний УВГадс ни от легких к тяжелым, ни от тяжелых к легким углеводородам.

В пределах платформенной части листа N-40 оконтурены АГХП как известных, так и новых потенциально высокоресурсных нефтегазоносных районов, а также новые типы нефтегазоносных площадей, приуроченные к Западноуральскому складчато-надвиговому поясу. В них прогнозируются нефтегазоносные залежи в девонско-карбоновых отложениях под экраном складчато-надвиговых образований и в межнадвиговых пластинах в докембрийском фундаменте.

Применение высокочувствительных прецизионных инструментальных методов анализов проб (ICP MS, ICP OES, RFA, AAA и др.) позволяет выявлять и исследовать полную структуру геохимических полей – зон выноса, транзита, отложения и переотложения х.э. (рудообразующих и сопутствующих), что позволяет создавать полифакторные прогнозно-поисковые модели (рис. 3). Одной из показательных является модель Золотушинского колчеданно-полиметаллического рудного района (Рудный Алтай) [5]. За пределами рудных узлов и полей здесь выявлены отрицательные аномалии (поля пониженных относительно кларков содержаний) Zn, Cu, Pb, а также нередко их перекрывающие положительные аномалии (поля переотложения) Mn, Cr, V, Sc, Na, Ca, Mg (зоны пропилитизации, зеленокаменного «регионального» метаморфизма). АГХП рудных узлов и полей в районе, как правило, состоят из трех зон. В центральных частях рудовмещающих зон выявлены положительные аномалии высокой или средней интенсивности (Cu, Zn, Pb, Ag, Mo...). В тех же зонах установлены отрицательные ореолы (зоны выноса) Mn, Cr, V, Sc, Na, Ca, Mg и др. (зоны окварцевания, березитизации, серицит-кварцевых метасоматитов). Во фронтальных частях преобладают такие х.э., как Pb, Zn, Ag, Ba, Hg, As; в тыловых частях – Cu, Bi, Mo, Sn, Co, W). Модели АГХП (аномальных геохимических площадей) рудного узла, поля и месторождения, как это подтверждено имеющимися материалами, в основных чертах по принципу фракталов повторяют модель рудного района. В этом направлении (от рудного района к месторождению) заметно возрастает контрастность проявления вышеописанной закономерности.

Результаты вышеописанных и других подобных инновационных работ и исследований позволили усовершенствовать ***комплекс критериев локализации перспективных АГХП*** рангов рудных полей, узлов, районов. Установлено, что крупные и уникальные месторождения характеризуются определенными геохимическими показателями:

– значительными размерами АГХП – геохимический (потенциальный рудный) район n·1000, геохимический (потенциальный рудный) узел n·100, геохимическое (потенциальное рудное) поле n·10 км^2;

– высокой или средней интенсивностью АГХП;

– комплексностью и типохимизмом состава;

– значительной степенью дифференциации содержаний рудообразующих х.э.;

– значимыми корреляционными связями х.э. в АГХП (положительными внутри типоморфных ассоциаций, отрицательными между ассоциациями в разных зонах АГХП);

– устойчивостью (сплошностью) АГХП;

– повышенными величинами отношений содержаний низкокларковых (элементов-спутников) и рудообразующих;

– контрастной структурой зональности, проявляемой в закономерном сочетании полей привноса, выноса и переотложения х.э. и в асимметричной дифференциации рудообразующих х.э. в направлении движения рудообразующих растворов с выявленными фронтальными зонами;

– большим объемом прогнозных ресурсов или минерагенического потенциала.

При интерпретации и оценке АГХП для отнесения их к высокоперспективным они должны отвечать комплексу перечисленных критериев (принцип Л. Н. Овчинникова «пуля-в-пулю»). Следует учитывать благоприятность структурно-вещественной позиции, а также наличие (и благоприятный тип) метасоматических, структурных, метаморфических и гипергенных преобразований вмещающих пород и другие геологические предпосылки. Выявление высокоресурсных АГХП несколькими методами, оценка фона и аномальных содержаний (не только положительных, но и отрицательных) не классическим методом (Инструкция, 1983), а путем анализа полимодальных графиков, построенных по всем имеющимся аналитическим данным, использование при оценке прогнозных ресурсов низких категорий не менее 2–3 альтернативных методов расчета способствуют увеличению достоверности и воспроизводимости результатов РГХР, а значит, повышению их эффективности.

Однако разработанные (даже частично апробированные) новые методические приемы выявления, интерпретации и оценки АГХП – это только первые и небольшие достижения в решении вышеперечисленных научно-методических проблем. Все-таки любые разработки в своей основе имеют подходы с позиций традиционных геохимических методов. При РГХР практически не используются результаты аэрогамма-спектрометрических съемок с данными о распределении U, Th, K, материалы гиперспектральных аэро- и космических съемок и др. Появившаяся сейчас информация (скорее рекламного характера) о возможности эффективного применения для прогноза конкретных полезных ископаемых некоторых модификаций дистанционных методов требует более строгого теоретического обоснования и практической апробации.

Предложения по обеспечению прироста геолого-геохимической информации и повышению эффективности РГХИ.

До 2030 г. выполнить запланированные ГХО-1000 по 88 номенклатурным листам (только на

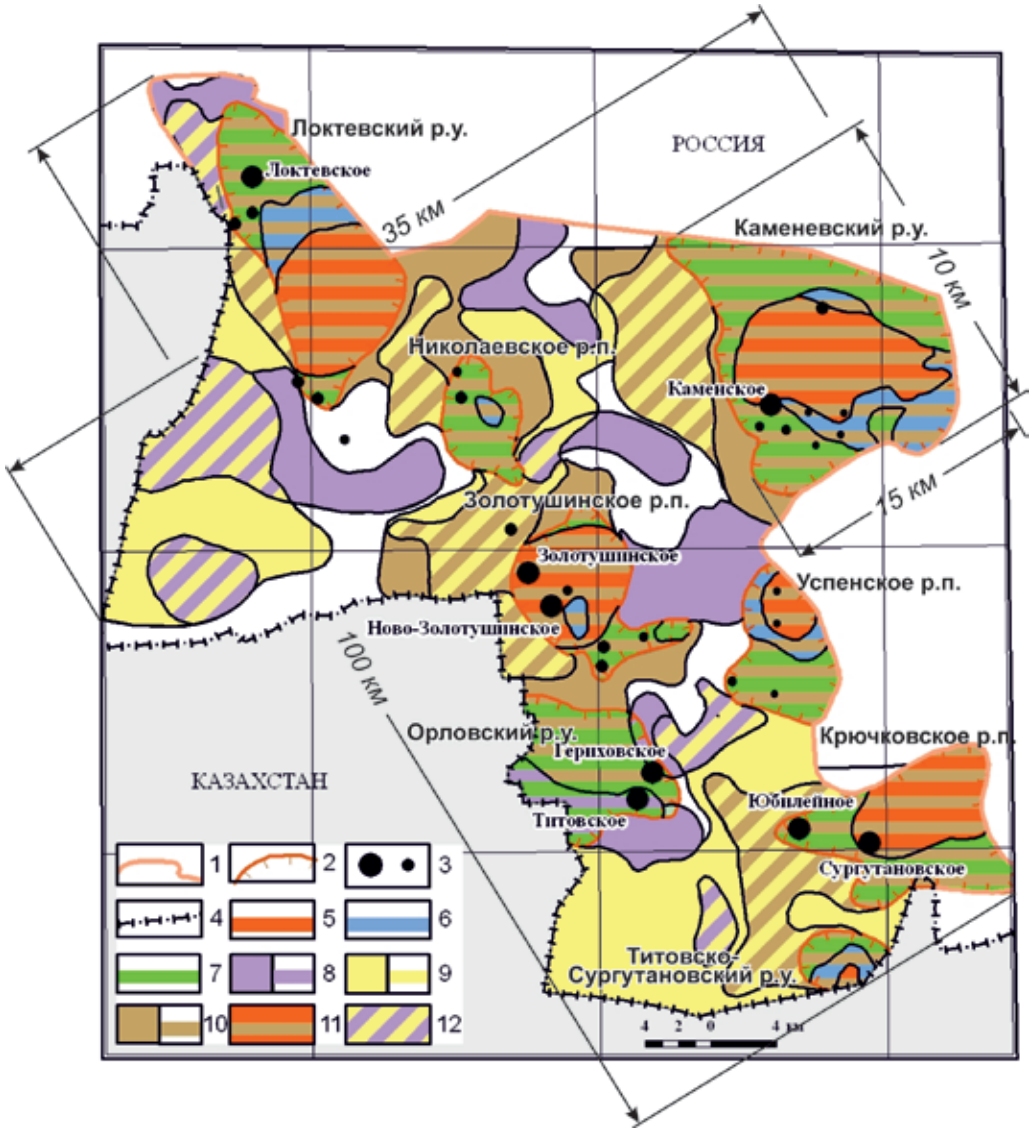

Рис. 3. Полифакторная прогнозно-поисковая модель геохимического ореола рудного района (на примере Золотушинского)

1 – границы Золотушинского рудного района; *2* – границы геохимических рудных узлов (ГХРУ) и полей колчеданно-полиметаллического типа; *3* – месторождения и рудопроявления; *4* – граница с Казахстаном; *5–8* – зоны положительных геохимических аномалий (привноса): *5* – халькофильного состава с преобладанием х.э. фронтальных зон (Pb, Zn, Ag...), *6* – комплексного халькофильного состава (Zn, Cu, Pb, Mo, Ag, Bi...), *7* – халькофильного состава с преобладанием х.э. тыловых зон (Cu, Mo, Bi...), *8* – сидерофильно-литофильного состава (V, Cr, Mn, Ni, Sc, Mg...); *9, 10* – зоны отрицательных геохимических аномалий (выноса): *9* – халькофильных х.э. (Zn, Cu, Pb...), *10* – сидерофильно-литофильных х.э. (V, Cr, Mn, Ni, Sc, Mg...); *11, 12* – знаки геохимических аномалий в границах (*11*) и вне границ рудных узлов, полей (*12*)

суше) на общую площадь 6726,6 тыс. км^2, т. е. на оставшуюся геохимически неизученной часть территории России 39,4%.

Форсировать работы по созданию ГХО-200 (с доведением их объемов к 2030 г. до 35,5% территории России при современной обеспеченности только 13,5%). Это возможно с использованием ретроспективных данных и частичным геохимическим доизучением. На 51% территории необходим полный комплекс геохимического изучения по технологии МГХК-200. В первую очередь следует запланировать и провести работы на площадях ЦЭРов.

Создать единое цифровое геохимическое «покрытие» территории России м-ба 1 : 2 500 000, базирующееся на современном стандартном опробовании, прецизионных аналитических данных и интегрированном в международный банк геохимических данных.

Расширить объемы ОМР и НИОКР, нацеленные на решение поставленных научно-методических проблем.

Решить организационно-технические проблемы экстренной разработки и регулярной актуализации сметных норм по геохимическим работам; оптимизации стоимости и сроков выполнения работ по каждому конкретному объекту на основе расчетов по современным сметным нормам; создания базовых региональных высокопроизводительных лабораторно-аналитических центров; технического перевооружения геохимических работ; усиления связи и преемственности между результатами регионального прогноза и поисковыми работами;

повышения профессионального уровня исполнителей-геохимиков и качества научно-методического руководства (сопровождения работ профильными НИИ); возобновления работы постоянно действующих курсов повышения квалификации.

Объемы финансирования НИОКР и ОМР по геохимическому изучению недр должны быть увеличены не менее чем в 10 раз. Началом должны стать укрепление и омоложение кадрового состава. Минимальная зарплата специалистов должна быть не ниже 40–50 тыс. руб./мес. (в настоящее время средняя зарплата по ФГУП «ИМГРЭ» 21 тыс. руб./мес.).

1. *Головин А.А., Гусев Г.С., Криночкин Л.А.* и др. Использование прогнозно-геохимических карт масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000 для выявления и количественной оценки ресурсов рудных районов и полей // Руды и металлы. 2000. № 3. – С. 10–21.

2. *Головин А.А.* Классификация геохимической зональности // Разведка и охрана недр. 2006. № 9–10. – С. 90–97.

3. *Головин А.А., Межеловский Н.В., Чепкасова Т.В.* Региональное геохимическое изучение России: результаты, эффективность, проблемы // Разведка и охрана недр. 2010. № 5. – С. 6–13.

4. *Головин А.А., Гусев Г.С., Криночкин Л.А.* и др. Геохимическая карта России масштаба 1 : 2 500 000 // Разведка и охрана недр. 2010. № 5. – С. 14–21.

5. *Головин А.А., Килипко В.А., Ведяева И.В., Чекунчикова В.В.* Геолого-геохимические модели разноранговых рудных объектов как основа составления прогнозно-геохимических карт (на примере Рудного Алтая) // Разведка и охрана недр. 2012. № 2. – С. 43–48.

6. *Головин А.А., Гуляева Н.Г., Кальева О.П, Колотов Б.А.* Выявление и оценка загрязнения окружающей среды токсичными химическими элементами на основе технологии многоцелевого геохимического картирования // Разведка и охрана недр. 2012. № 7. – С. 57–61.

7. Схема металлогенического районирования России. Масштаб 1 : 5 000 000 / Н.В. Межеловский (гл. ред.), А.Ф. Морозов (зам. гл. ред.), Г.С. Гусев (отв. исп.), К.Л. Волочкович, А.А. Головин, А.В. Гущин и др. – М., 2002. Карта на 8 листах. Объясн. зап. 163 с.

8. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1 : 1 000 000 / А.А. Головин, А.И. Ачкасов, К.Л. Волочкович и др. – М.: ИМГРЭ, 1999. – 104 с., 70 прил.

9. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1 : 200 000 / А.А. Головин, Н.Н. Москаленко, А.И. Ачкасов и др. – М.: ИМГРЭ, 2002. – 92 с., 90 прил.

10. Требования к геохимической основе Государственной геологической карты РФ масштаба 1 : 1 000 000 (новая редакция) / А.А. Головин, О.С. Клюев, Г.М. Беляев. – М.: ИМГРЭ, 2005. – 42 с.

11. *Burenkov E.K., Golovin A.A., Morozova I.A., Filatov E.I.* Multipurpose geochemical mapping (1 : 1,000,000) as a basis for the integrated assessment of natural resources and ecological problems // J. of Geochem. Explor. 1999. N 66. P. 159–172.

Головин Аркадий Александрович – доктор геол.-мин. наук, зам. директора по научной работе, ФГУП «ИМГРЭ». <golovin@imgre.ru>.

Килипко Виктор Алексеевич – канд. геол.-мин. наук, зав. отделом, ИКЦ ФГУП «ИМГРЭ». <geochemmap@imgre.ru>.

Криночкин Лев Алексеевич – доктор геол.-мин. наук, зав. отделом, ФГУП «ИМГРЭ». <krinochkin@imgre.ru>.

Межеловский Николай Васильевич – доктор геол.-мин. наук, директор, ООО «МЦГК Геокарт». <geokart@hotbox.ru>.

Чепкасова Татьяна Вениаминовна – канд. геол.-мин. наук, зам. начальника, Управление региональных работ, науки и информатики, нач. отдела региональных работ, Роснедра. <tchepkasova@rosnedra.com>.