

ТГФ и РГФ, заказать и получить изданные карты и топоматериалы, приобрести материалы и снаряжение, выполнить другие подготовительные работы. Нежелательна также синхронизация работ по нескольким однотипным проектам. Для одной организации—исполнителя такие работы желательно выполнять «вразбежку», что обусловлено необходимостью равномерной загрузки исполнителей и лаборатории.

В связи с тем, что конкурсная цена объекта определяется на момент подготовки конкурсной документации следует предусмотреть ее ежегодную индексацию с компенсацией текущего изменения цен и дополнительных затрат, обусловленных инфляцией.

Необходимо критически пересмотреть существующую систему оценки прогнозных ресурсов кат. P_2 и P_3 на основе геохимических данных, оговоренную в § 211 действующей инструкции по геохимическим методам поисков [4], исключив из нее те показатели, которые по способу получения вызывают недоверие или допускают субъективное толкование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Домчак В.В. Некоторые особенности рассеяния рудного вещества в аллювии горных рек Станового хребта // Разведка и охрана недр. — 2008. — № 4–5. — С. 99–103.
2. Домчак В.В., Инговатов А.П., Салько К.В. Геохимические поисковые модели при прогнозировании и поисках месторождений в открытых ландшафтах горной тайги (опыт создания и использования) // Разведка и охрана недр. — 2009. — № 5. — С. 26–30.
3. Домчак В.В., Третьяков В.Н. Результаты детализации рудогенных аномалий при ОГХР-200 в Амурском сегменте БАМ // Разведка и охрана недр. — 2010. — № 5. — С. 69–76.
4. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. — М.: Недра, 1983.
5. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, А.Я. Архипов, В.А. Бугров и др. — М.: Недра, 1990.

© Домчак В.В., Инговатов А.П., 2015

Домчак Василий Васильевич // geoaome@mail.ru
Инговатов Анатолий Павлович // geoaome@mail.ru

УДК 550.84: 523.21

Соколов С.В. (ФГУП «ВСЕГЕИ»), Володько С.А. (ЗАО «Регион»), Юрченко Ю.Ю. (ФГУП «ВСЕГЕИ»), Приходько Е.Ф. (Концерн «Наноиндустрия»)

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО КОМПЛЕКСУ ДИСТАНЦИОННЫХ И НАЗЕМНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

По результатам проведенных на Дальнем Востоке исследований разработаны методические основы инновационной технологии геохимического прогнозирования рудных узлов и полей на закрытых территориях на стадии регионального геологического изучения с использованием наземного метода по наложенным сорбционно-солевым ореолам — метода анализа сверхтонкой фракции (МАСФ) и дистанционных методов — геохимического зондирования по минералам-индикаторам ореолов метасоматически измененных пород (ГЗМИ) и геохимического зондирования нанохимических аномалий в приземной атмосфере (ГЗНА). **Ключевые слова:** методика, геохимическое зон-

дирование, нанохимические аномалии, метод анализа сверхтонкой фракции, закрытые территории, Пионер-Покровский золоторудный район

Sokolov S.V. (VSEGEI), Volodko S.A. («Region»), Yurchenko Yu.Yu. (VSEGEI), Prihodko E.F. (Concern «Nanoindustry»)

THE METHODOLOGICAL BASES OF INNOVATIVE TECHNOLOGY BY PREDICTIVE ASSESSMENT OF CLOSED AREAS BY A COMPLEX OF DISTANCE AND SURFACE GEOCHEMICAL METHODS

*The methodical base of innovative technology by the geochemical prediction of ore nodes and fields in regional geological surveys in closed areas are developed by the results of the research in the Far East. It consists of surface method for the sorption-saline halos — Method of analysis of the superfine fractions (MASF), and distance methods — Remote Sensing of minerals indicator of metasomatic halos (GZMI) and Remote Sensing of Nano geochemical anomalies in the atmospheric surface layer (GZNA). **Key words:** methods, Remote Sensing, Nano geochemical anomalies, method of analysis of the superfine fraction, closed areas, Pioneer-Pokrovskiy gold ore cluster*

Государственная геологическая карта РФ (ГГК РФ) масштабов 1:1 000 000 — 1:200 000 является базовым источником информации о геологическом строении и минерагеническом потенциале территорий, позволяет осуществлять разработку и реализацию региональных программ изучения и рационального использования недр, обосновывает направления и перспективные площади для постановки прогнозно-поисковых работ. В соответствии с существующими требованиями [10] предусматривается обязательное проведение опережающих работ по созданию геохимических основ, обеспечивающих повышение информативности и прогнозистических свойств комплекта ГГК РФ.

По геолого-структурным особенностям, условиям эрозионного вскрытия, характеру четвертичного покрова, климатической зональности и, как следствие, проявленности на поверхности гипергенных вторичных ореолов различного генезиса на территории России выделяются закрытые, полужакрытые и открытые районы [8].

На открытых территориях в ландшафтах горно-складчатых сооружений технологии проведения геохимических работ, предусмотренные существующими инструктивными документами, позволяют достаточно эффективно решать задачи по расшифровке геологического строения и прогнозу перспективных рудных объектов. Сложнее обстоит дело на закрытых и полужакрытых территориях, характеризующихся повышенной мощностью четвертичного покрова в широко распространенных ландшафтах слаборасчлененных низкорельефных и плоскогорий, на равнинных и слаборасчлененных площадях древних щитов и выступов складчатого основания платформ со сплошным или почти повсеместным развитием дальнепринесенных рыхлых образований. Здесь применение традиционных геохимических методов при расшифровке геологического строения осложняется полным или частичным отсутствием выходов на поверхность коренных пород, а при выде-

лении потенциально рудных узлов и полей по вторичным ореолам и потокам рассеяния в условиях повышенной мощности рыхлых отложений — незначительной глубиной прогноза «инструктивных» методов по остаточным (механическим) ореолам.

На таких закрытых площадях широко за рубежом и ограничено в России используются специальные геохимические методы и технологии, а именно:

а) тиллевая съемка — глубинные геохимические поиски с применением бурения по вторичным ореолам с опробованием нижних горизонтов рыхлого покрова (тиллевого горизонта);

б) специальные методы геохимических поисков по наложенным сорбционно-солевым ореолам и потокам рассеяния в почвах и донных осадках.

В связи с большими затратами на проведение глубинных геохимических поисков отчетливо проявляется тенденция развития таких модификаций геохимических методов, которые используют прецизионный высокочувствительный анализ специфических, подвижных и слабозакрепленных форм нахождения элементов в верхней части геологической среды — это так называемые методы по наложенным сорбционно-солевым ореолам и потокам рассеяния. Применение подобных методов позволяет повысить глубину и надежность опробования полузакрытых и закрытых территорий. К таким важнейшим геохимическим методам, эффективность которых подтверждена практикой, относятся разработанные китайскими геохимиками методы MOMEО (MOBILE forms of METals in Overburden — мобильные формы металлов в рыхлом покрове) и NAMEG (NANOScale Metals in EarthGas — наноразмерные металлы в земных газах). Литохимический метод поисков MOMEО использует извлечение из почвенных проб различных групп мобильных форм нахождения элементов: водорастворимых, элементоорганических, адсорбированных и ионно-обменного комплекса. Атмохимический метод NAMEG основан на анализе газовой составляющей верхнего слоя рыхлых отложений.

К числу отечественных геохимических методов поисков по наложенным вторичным ореолам рассеяния относятся метод частичного извлечения металлов (ЧИМ), метод диффузионного извлечения элементов (МДИ), термомагнитный геохимический метод (ТМГМ), метод металлоорганических почвенных форм (МПФ) и др. Однако эти методы не вошли широко в практику геохимических поисков рудных месторождений на закрытых и полузакрытых территориях, так как их применение не всегда дает надежный результат, а в ряде случаев сопряжено с техническими и методическими трудностями. Поэтому совершенствуются известные и разрабатываются новые технологии геохимического прогнозирования, в том числе с использованием опыта зарубежных государств. К таким методам принадлежит новый, относительно недорогой (в сравнении с тиллевой съемкой) литохимический метод поисков месторождений, разработанный во ФГУП «ВСЕГЕИ», — метод анализа сверхтонкой фракции — МАСФ [4].

Вместе с тем, в российских экономических условиях широкое внедрение в практику технологии МАСФ или других методов по наложенным сорбционно-солевым

ореолам при проведении полнообъемных площадных геохимических работ, в первую очередь на региональных стадиях ГРП, сдерживается их значительно более высокой стоимостью в сравнении с «инструктивными» методами, обусловленной большей глубиной отбора проб из рыхлых отложений, нередко с использованием специальных легких буровых установок, и значительно более высокой стоимостью лабораторных работ (прецизионные количественные методы).

Одним из путей снижения финансовых затрат и ускорения процедуры составления мелко- и среднемасштабных геохимических основ может являться внедрение дистанционных методов изучения геохимического поля земной поверхности и приземной атмосферы. В настоящее время имеются обнадеживающие данные о возможности эффективного прогнозирования рудных объектов с использованием дистанционных геохимических методов, в частности, так называемого метода геокосмического зондирования Земли [3] (далее — дистанционный метод геокосмического зондирования нанохимических (нанопылевых) аномалий — ГЗНА).

По результатам апробации на золоторудных объектах в Республике Бурятия и Амурской области установлено, что метод ГЗНА позволяет выявлять в приземной атмосфере аномальные концентрации наночастиц минералов — нанопылевые облака, фактически представляющие собой нанохимические аномалии рудных объектов и их первичных и вторичных литохимических ореолов. Метод основан на том, что наночастицы пылевой аномалии поглощают, а следовательно, и переизлучают кванты падающего на них солнечного света. Это открывает возможность приборного обнаружения таких нанопылевых аномалий. Распознавание конкретного объекта производится посредством вейвлет-анализа спектра суммарного излучения от выбранного участка земной поверхности. В качестве фильтра (эталонного вейвлета) используется предварительно созданный поисковый образ спектра переизлучения химического элемента, подлежащего поиску. Такое распознавание рудного объекта осуществляется путем дистанционной регистрации коллективного переизлучения всего нанопылевого образования с применением спутниковых оптических сенсоров.

Другим весьма перспективным направлением при региональном прогнозировании рудных объектов является выделение дистанционным методом геокосмического зондирования ореолов метасоматически измененных пород. Такого рода исследования были выполнены в районе Серебряного пояса в шт. Аризона США [11], Коллахуази на севере Чили [12] и др. Суть этого метода заключается в дистанционном картировании с использованием спутниковой информации ASTER участков распространения минералов-индикаторов метасоматически измененных пород и собственно рудных минералов по их спектрам. Эталонные характеристики заимствуются из существующей спектральной библиотеки, которая представляет собой коллекцию спектров отражения различных минералов и горных пород. Обозначим эту технологию как метод геокосмического зондирования по минералам-индикаторам метасоматически измененных пород (ГЗМИ).

Вместе с тем, оба этих дистанционных метода не являются самодостаточными: в настоящее время не разработаны методики определения природы нанохимических аномалий, выделения аномалий собственно рудных объектов на фоне многочисленных ореолов зон рассеянной минерализации, оценки рудноформационной принадлежности и масштаба прогнозируемого оруденения с использованием только методов ГЗНА и ГЗМИ. В связи с этим для надежной разбраковки нанохимических и минералогических аномалий требуется комплексирование вышеуказанных методов с наземными геохимическими методами, в частности, для закрытых территорий — с технологиями по наложенным сорбционно-солевым ореолам рассеяния (например, МАСФ).

Исследования в этом направлении авторами проводились в 2012–2014 гг. в пределах Пионер-Покровского золоторудного района (Дальний Восток). По результатам этих работ разработаны методические основы комплексной технологии геохимического прогнозирования золоторудных узлов и полей при проведении региональных работ на закрытых территориях с использованием наземного метода МАСФ и дистанционных методов ГЗНА и ГЗМИ. Составными частями этой технологии являются следующие инновации:

1. Разработанная во ФГУП «ВСЕГЕИ» [2] многоступенчатая схема обработки гиперспектральных данных ASTER (ГЗМИ) с каскадным использованием известных методов.

2. Комплекс процедурных видов работ в составе методики ГЗНА [3].

3. Методика прогнозной оценки нанохимических аномалий и ореолов метасоматически измененных пород по комплексу вещественных структурных и концентрационных признаков рудогенных систем (зональность гидротермально-метасоматических систем, продуктивность и прогнозные ресурсы комплексных аномалий, наличие ареалов распространения минералов-спутников оруденения). Составной частью методики являются разработанные во ФГУП «ВСЕГЕИ» способы оценки продуктивностей метасоматических ореолов и нанохимических аномалий, способ оценки масштаба прогнозируемых рудных объектов по параметрам нанохимических аномалий, система балльной оценки перспективности минералого-геохимических аномалий с выделением участков 1-й и 2-й очереди заверки.

4. В составе технологии МАСФ [1] методика проведения полевых работ, лабораторно-аналитических исследований, прогнозной оценки аномальных геохимических полей (АГХП) — способы выделения АГХП по структурным и концентрационным геохимическим признакам, оценки формационной принадлежности и масштаба прогнозируемого оруденения.

Практическая реализация этой комплексной технологии с использованием дистанционных и наземного геохимических методов предусматривается в два этапа.

I этап (прогнозный) включает в себя выделение дистанционными методами геокосмического зондирования минералого-геохимических аномалий (МГХА) ранга, соответствующего масштабу проводимых работ: 1:1 000 000 — ранга рудного узла ($n \cdot 10^2 \text{ км}^2$), 1:200 000 —

ранга рудного поля ($n \cdot 10 \text{ км}^2$), и предусматривает следующую последовательность операций:

1) выделение комплексных ореолов метасоматически измененных пород и ареалов распространения типоморфных минералов коренных проявлений полезных ископаемых (ППИ);

2) выделение нанохимических аномалий главных компонентов искоемых рудных объектов;

3) прогнозная оценка комплексных МГХА по вещественным структурным и концентрационным признакам с оценкой их продуктивности, прогнозных ресурсов;

4) выделение высокоперспективных и перспективных участков 1-й и 2-й очереди изучения (заверки).

II этап (заверочный) включает в себя выделение перспективных АГХП ранга рудного поля (РП), рудного месторождения (РМ) по результатам наземных геохимических работ МАСФ масштабов 1:200 000–1:50 000 на высокоперспективных и перспективных участках, выделенных на I этапе исследований. На этом этапе предусматриваются следующие виды и последовательность работ:

1) полевые работы — площадное геохимическое опробование по технологии МАСФ;

2) лабораторно-аналитические исследования — анализ содержаний сорбционно-солевых форм элементов (составная часть технологии МАСФ);

3) прогнозная оценка АГХП с выделением перспективных участков под постановку поисковых работ.

Методика проведения заверочных работ по технологии МАСФ ранее неоднократно излагалась в печати [1 и др.] и здесь не рассматривается. Ниже приводятся методические подходы при решении вышеобозначенных задач I этапа исследований.

Выделение комплексных ореолов метасоматически измененных пород проводится с использованием дистанционного метода ГЗМИ по спектрам минералов-индикаторов этих пород. Многоступенчатая схема обработки гиперспектральных данных ASTER с каскадным использованием алгоритмов расчета минимального расстояния до эталонного спектра, скалярного произведения спектров, алгоритма минимизации энергетического функционала включает в себя [2]:

1) пополнение исходных данных волновыми характеристиками спектров, в результате чего вместо чисто спектральной кривой в каждом пикселе получается «расширенная» спектральная кривая, что позволяет отыскивать редкие объекты;

2) выделение фоновых классов, не содержащих полезной информации, методом безэталонной классификации (нечетких множеств);

3) для классов с редкой встречаемостью, с помощью алгоритма условной минимизации энергии, определение близости спектров классов к спектру выбранного минерала-индикатора с последующей оценкой методом спектрального разделения условной концентрации заданного минерала-индикатора и картированием его пространственного распределения.

В соответствии с этой схемой методика обработки гиперспектральных данных предусматривает следующую последовательность операций [2]:

1. Отбор данных ASTER на заданную территорию на основе оценки качества космических снимков по всем 14 спектральным диапазонам с использованием существующей в ФГУП «ВСЕГЕИ» библиотеки спектров минералов и горных пород.

2. Предварительная обработка данных ASTER:

атмосферная коррекция данных ASTER: снятие негативного влияния атмосферных помех (различная освещенность, наличие облачности, состав атмосферы) с использованием модуля FLASH программного продукта ENVI;

геометрическая коррекция: трансформация данных ASTER в систему координат (например, Гаусса—Крюгера);

создание дистанционных основ по отдельным каналам: монтаж отдельных снимков в единое изображение.

3. Создание библиотеки спектров минералов-индикаторов метасоматически измененных пород, типовых для территории исследований, путем фиксации спектров известных на изучаемой территории ареалов распространения минералов или заимствования этих спектров из существующей спектральной библиотеки.

4. Выделение комплексных ореолов метасоматически измененных пород и ареалов распространения типоморфных минералов ППИ:

создание вероятностных схем ареалов распространения минералов-индикаторов объектов картирования путем сравнения полученных наборов признаков (коэффициентов отражения и излучения) с соответствующими спектрами минералов из спектральной библиотеки;

пороговая фильтрация вероятностных схем распределения минералов-индикаторов с последующим составлением отдельных карт ореолов метасоматически измененных пород и ареалов распространения типоморфных минералов ППИ;

геометризация в обобщенных контурах комплексных метасоматических ореолов в изолиниях интенсивности путем совмещения на единой картографической основе отдельных ореолов метасоматически измененных пород и ареалов распространения типоморфных минералов ППИ (рис. 1)

Выделение нанохимических аномалий главных компонентов искоемых рудных объектов предусматривает такую последовательность операций:

1. Подбор и подготовка тестовых эталонов-образцов рудных элементов (минералов, пород) для главных типов месторождений рудных полезных ископаемых на изучаемой территории.

2. Подбор космических снимков высокого разрешения соответствующих частотных диапазонов применительно к ландшафтно-геологическим условиям исследуемой территории.

3. Получение спектральной характеристики атомных решеток (их кластеров) для эталонных образцов на электронных (туннельных) сканирующих микроскопах.

4. С использованием спектральных характеристик сканов эталонных образцов в качестве вейвлетов фильтрация вейвлет-разложения космоснимков для выделения значащих образов.

5. Вейвлет-анализ потока спутниковой информации с заданной достоверностью и разработка методических подходов при установлении доверительных интервалов исследования.

6. Геометризация нанохимических аномалий в изолиниях интенсивности по плотности распределения полезных сигналов.

Подбор и подготовка опытных тестовых эталонов-образцов искоемых полезных ископаемых осуществляется в определенной последовательности:

подбор состава известных полезных ископаемых на исследуемой территории;

формирование мишеней-источников из исходных материалов;

подготовка подложек для вакуумного напыления образцов;

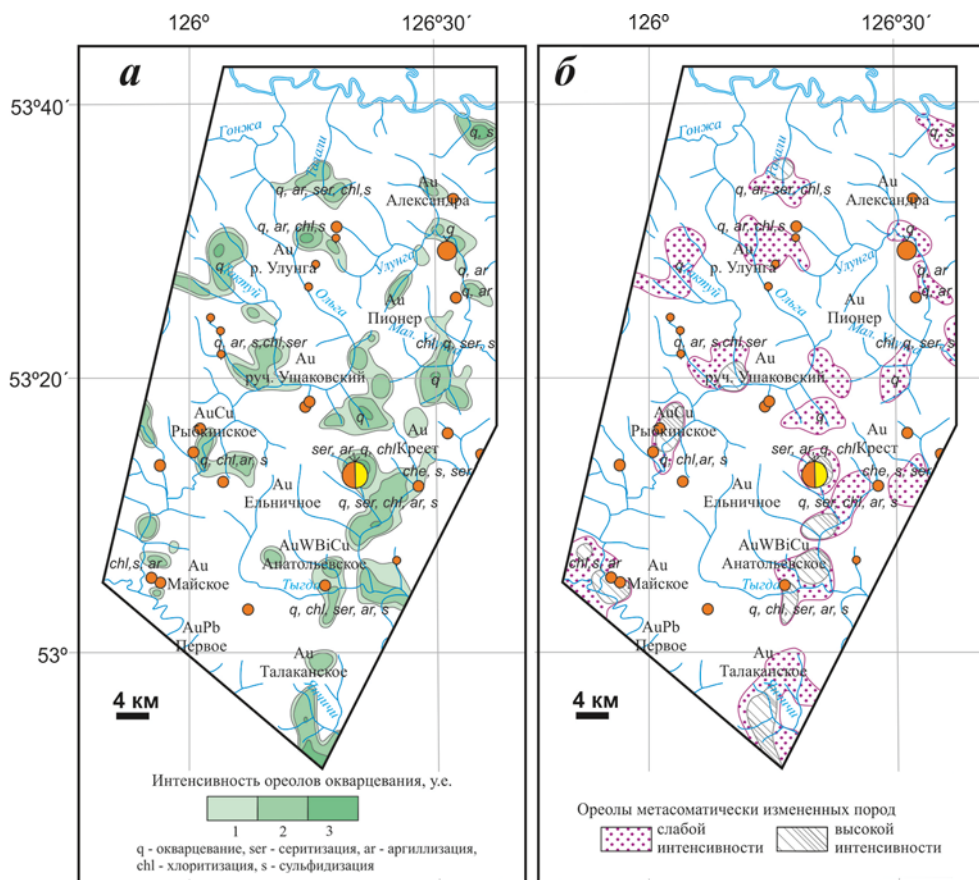


Рис. 1. Ореолы окварцевания (а) и комплексные ореолы метасоматически измененных пород (б) по результатам метода ГЗМИ Пионер-Покровского золоторудного района

ионно-плазменное напыление в вакууме: нанесение наноразмерных пленок и островковых ансамблей на поверхность подложки в условиях вакуума; при ионном распылении наночастицы образца выбиваются с поверхности конденсируемой фазы путем ее бомбардировки ионами низкотемпературной плазмы (установка вакуумного напыления ВАК761; источник испарения — электронная пушка EBS 500; контроллеры толщины и параметров процесса — кварцевые датчики, Sentinel III® спектроскоп);

исследование оптических и электрических характеристик; по максимуму люминесценции подбираются оптимальные условия осаждения в напылительной камере и производится точный контроль толщины напыляемой пленки.

Подбор космических снимков высокого разрешения включает следующие операции:

топогеодезическая спецификация космоснимков применительно к покрытию листов в пределах изучаемой площади;

получение архива «аутлуков» космоснимков;

разбраковка «аутлуков» космоснимков по времени съемки, спектру освещенности, облачности, наличию технических помех;

подбор покрытий космосцен, соответствующих листам в пределах изучаемой площади, «аутлуками» космоснимков, прошедшими разбраковку;

загрузка базы данных отобранными космоснимками.

Получение спектральной характеристики атомных решеток (их кластеров) для эталонных образцов производится в следующей последовательности:

изготовление стенового образца посредством напыления (лазерного осаждения) наночастиц на твердую подложку;

получение типичных квантово-оптических спектральных откликов путем активизации эталонного образца когерентным излучением в заданных участках светового диапазона.

Фильтрация вейвлет-разложения космоснимков для выделения значащих образов выполняется следующим образом:

техническая подготовка видеоспектрометрических данных путем их преобразования для обработки в системе параллельных вычислений с использованием методов параллельного программирования;

построчный вейвлет-анализ космоснимков с последующим «сшиванием» строк путем поточечного сопоставления монохроматических двумерных функций яркости космоснимка с двумерным эталонным образцом.

В процедурах вейвлет-анализа используются значения функций из библиотеки MPI:

для распределения входной яркостной функции строки космоснимка по процессорам — функция MPI_Scatterv;

для передачи всем процессорам коэффициентов скейлинг-фильтров и вейвлет-фильтров — функция MPI_Bcast;

для объединения результатов расчета и получения полного вектора аппроксимирующих и детализирующих коэффициентов — функция MPI_Allgatherv.

Вейвлет-анализ потока спутниковой информации, представляющей собой набор чисел, характеризующих оптические параметры каждой точки земной поверхности, состоит в специальной организации этих данных для последующих высокоскоростных вычислений.

Геометризация нанохимических аномалий проводится посредством обратного преобразования вейвлет-разложения следующим образом:

вычисление координат скачков яркостной функции в строке космоснимка по отношению к выбранному базовому вейвлету;

получение двумерного вейвлет-образа исходного космоснимка, построенного по вейвлет-образцу искомого материала;

построение схематичной карты распределения нанопылевых аномалий в виде локальных точечных участков двух уровней интенсивности: малой—средней интенсивности (не залитый цветом контур) и большой интенсивности (залитый контур);

с использованием вышеуказанной схематичной карты построение карты нанохимических аномалий в изолиниях интенсивности по плотности распределения полезных сигналов (рис. 2).

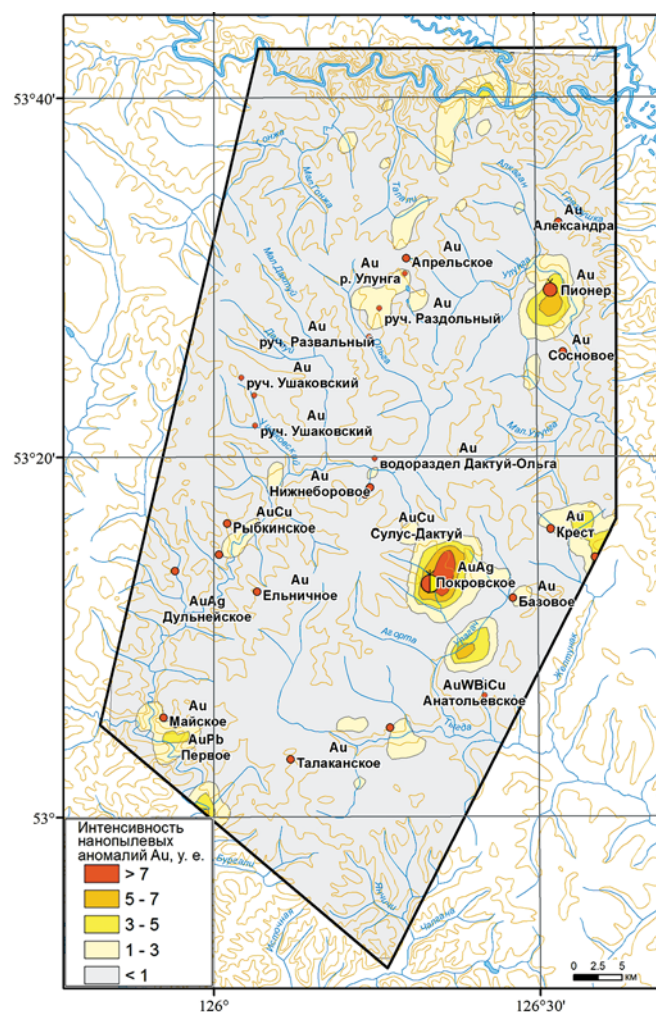


Рис. 2. Нанохимические аномалии золота Пионер-Покровского золоторудного района

Процедура построения таких карт в изолиниях интенсивности аналогична используемой при построении шлиховых ореолов в изолиниях [7] и заключается в следующем:

1. Изучаемая территория разбивается на квадратные ячейки со стороной 1 см карты, в каждой из которых оценивается плотность D распределения точек двух уровней интенсивности по следующей формуле:

$$D = N_6 + 2N_7, \quad (1)$$

где N_6 и N_7 — соответственно количество сигналов средней—слабой (одна точка соответствует значению 1 у.е. интенсивности) и большой интенсивности (одна точка соответствует значению 2 у.е. интенсивности).

2. По значениям D , отнесенным к центру ячейки, проводятся изолинии плотности распределения полезных сигналов.

Получаемые таким образом карты нанохимических аномалий (рис. 2) дают наиболее полное представление о структуре распределения полезного сигнала и позволяют с максимальной корректностью оконтурить потенциально рудоносные системы ранга, соответствующего масштабу карты; эти материалы легко сопоставимы с геологическими и геофизическими данными.

В основу **оценки комплексных минерало-геохимических аномалий** положены следующие методические подходы и прогнозные критерии:

1. Комплексирование результатов дистанционных методов ГЗМИ и ГЗНА с выделением минерало-геохимических аномалий как совокупности ореолов метасоматически измененных пород, ареалов распространения минералов-спутников искомым коренных месторождений полезных ископаемых и нанохимических аномалий.

2. Комплекс вещественных структурных и концентрационных признаков рудогенных систем — зональность гидротермально-метасоматических систем, продуктивность и прогнозные ресурсы комплексных аномалий, наличие ареалов минералов-спутников оруденения.

3. Способ оценки продуктивности комплексных метасоматических ореолов как меры масштаба гидротермального процесса.

4. Установленная жесткая тенденция к зависимости продуктивности нанохимических аномалий золота и адекватных по пространственному положению сорбционно-солевых ореолов золота. С использованием этой зависимости осуществляется оценка продуктивности и масштаба коренных проявлений золота по параметрам нанохимических аномалий, выделенных дистанционным методом ГЗНА.

5. Система балльной оценки перспективности комплексных минерало-геохимических аномалий с выделением участков 1-й и 2-й очереди заверки.

Такая прогнозная оценка предусматривает следующую последовательность операций:

1. Создание результирующей прогнозно-геохимической карты на геологической основе с выделением комплексных минерало-геохимических аномалий (рис. 3).

2. В контурах минерало-геохимических аномалий оценка продуктивности метасоматических ореолов, продуктивности нанохимических аномалий, ресурсов прогнозируемых рудных узлов и полей.

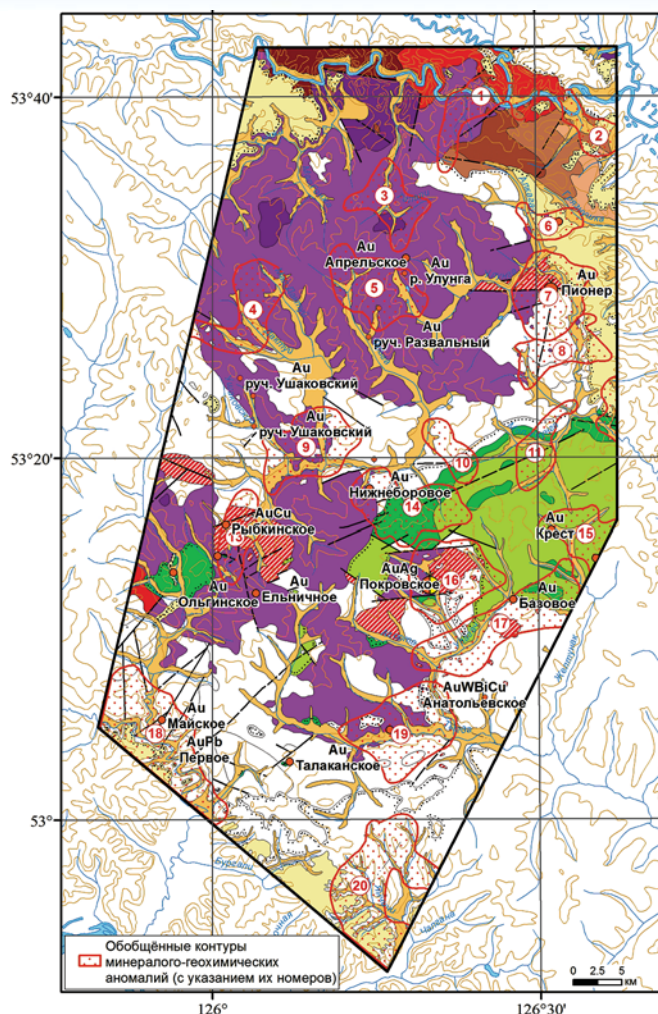


Рис. 3. Карта комплексных минерало-геохимических аномалий Пионер-Покровского золоторудного района

3. Выделение высокоперспективных и перспективных на выявление рудных узлов и полей комплексных минерало-геохимических аномалий соответственно 1-й и 2-й очереди изучения.

Прогнозно-геохимическая карта создается путем совмещения на единой картографической основе метасоматических ореолов, ареалов распространения минералов-спутников оруденения и нанохимических аномалий с выделением в обобщенных контурах комплексных минерало-геохимических аномалий в двух градациях.

Оценка продуктивности комплексных метасоматических ореолов предусматривает следующую последовательность операций:

1) оценка интенсивности комплексного метасоматического ореола I_{MO} по формуле

$$I_{MO} = (I_{1гр}S_{1гр} + I_{2гр}S_{2гр}) / S_{MO}, \quad (2)$$

где $I_{1гр}$ и $I_{2гр}$ — соответственно условные интенсивности ореола 1-й градации (условно принимается равной 1) и ореола 2-й градации (условно принимается равной 2); $S_{1гр}$ и $S_{2гр}$ — соответствующие площади ореолов 1-й и 2-й градаций, км²; S_{MO} — площадь комплексного ореола ($S_{1гр} + S_{2гр}$), км²;

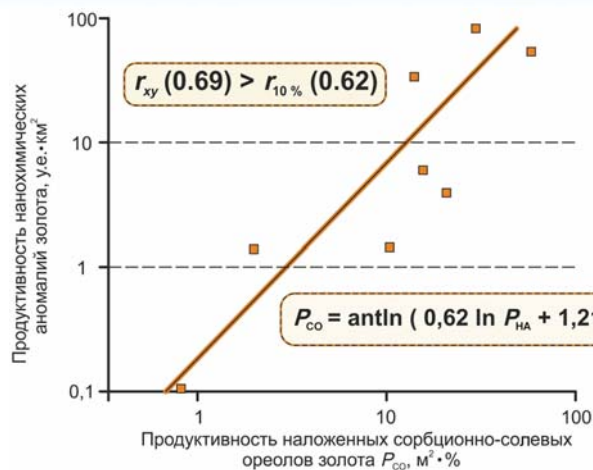


Рис. 4. Зависимость продуктивности нанохимических аномалий золота (ГЗНА) и продуктивности наложенных сорбционно-солевых ореолов золота (МАСФ)

2) оценка площадной продуктивности комплексных метасоматических ореолов P_{MO} :

$$P_{MO} = I_{MO} S_{MO}. \quad (3)$$

Оценка продуктивности сорбционно-солевых ореолов прогнозируемых рудных узлов и полей по параметрам адекватных нанохимических аномалий производится следующим образом:

1) оценка интенсивности нанохимической аномалии I_{HA} по формуле

$$I_{HA} = (I_{1гр} S_{1гр} + I_{2гр} S_{2гр}) / S_{HA}, \quad (4)$$

где $I_{1гр}$ и $I_{2гр}$ — соответственно условные интенсивности нанохимических аномалий 1-й градации (условно принимается равной 1) и 2-й градации (условно принимается равной 2); $S_{1гр}$ и $S_{2гр}$ — соответствующие площади аномалий 1-й и 2-й градаций, км²; S_{HA} — площадь комплексного ореола ($S_{1гр} + S_{2гр}$), км²;

2) оценка площадной продуктивности нанохимической аномалии P_{HA} :

$$P_{HA} = I_{HA} S_{HA}; \quad (5)$$

3) оценка продуктивности сорбционно-солевых ореолов прогнозируемых рудных узлов и полей P_{CO} по параметрам адекватных нанохимических аномалий исходя из следующей установленной зависимости (рис. 4):

$$P_{CO} = \text{antln}(0,62 \ln P_{HA} + 1,21). \quad (6)$$

Эта величина используется при оценке прогнозных ресурсов комплексных минералого-геохимических аномалий в традиционном варианте [6, 9].

Высокоперспективные и перспективные на выявление рудных узлов и полей комплексные минералого-геохимические аномалии 1-й и 2-й очереди изучения выделяются по комплексу вещественных, структурных и концентрационных признаков рудогенных систем (таблица). Структурные признаки характеризуют закономерности строения АГХП и сопряженных с ними гидротермально-метасоматических систем (ГМС). Концентрационные признаки отражают интенсивность и масштаб концентрации химических элементов, а также гидротермально-метасоматических процессов.

Вещественные признаки золоторудных систем при прогнозе дистанционными методами ГЗМИ и ГЗНА

Группа признаков	Признаки	Содержание признака	Проявленность и технология выделения признака
Структурные	Зональность ГМС	Зональное строение ГМС на уровнях рудного района, рудного узла, рудного поля, рудного месторождения проявляется в закономерной смене от центра системы к периферии проявлений кислого метасоматоза (вторичные кварциты, березиты, аргиллизиты и др.) проявлениями более щелочного (пропилиты и др.)	Прогнозируемые по технологии ГЗМИ пространственно сближенные метасоматические поля кислого и субщелочного ряда (в нашем случае соответственно ореолы окварцевания, аргиллизации, серицитизации (кислый метасоматоз) и хлоритизации (субщелочной метасоматоз))
Концентрационные	Содержания рудных элементов. Иерархическая структура концентраций рудных элементов	Масштаб и уровень концентрации рудных элементов на конечных этапах развития рудной системы определяет промышленную значимость объекта. Поэтапное концентрирование элементов в процессе развития системы проявляется в наличии фиксированных интервалов содержаний элементов на каждом уровне организации аномальной геохимической системы, в высокой их дисперсии	Выявленные по технологии ГЗНА условно контрастные нанохимические аномалии золота 1-й и 2-й градаций, по площадным параметрам соответствующие в зависимости от масштаба работ: 1:1 000 000 – рудному узлу ($n \cdot 10^2$ км ²), 1:200 000 – рудному полю ($n \cdot 10$ км ²). Оценка условной продуктивности нанохимических аномалий, прогнозных ресурсов аномалий
	Интенсивность и масштаб метасоматических изменений	Масштаб рудоконцентрирования и соответственно рудных объектов находится в функциональной зависимости от масштаба гидротермальных процессов, приводящих к образованию ГМС [5]	Прогнозируемые по технологии ГЗМИ условно контрастные ореолы метасоматически измененных пород 1-й и 2-й градаций, по площадным параметрам соответствующие рудному узлу, рудному полю. Оценка условной продуктивности метасоматических ореолов
	Минеральный состав оруденения	Наличие ареалов распространения типоморфных минералов-спутников искомого оруденения	Прогнозируемые по технологии ГЗМИ ареалы распространения минералов-спутников искомого оруденения (например, в Пионер-Покровском золоторудном районе – арсенопирита, пирита и халькопирита)

Оценка перспективности аномалий, выделенных дистанционными методами, проводится по комплексу вышеуказанных признаков, по балльной системе. Применяется следующая система баллов:

1. Зональность ГМС: прогнозируемые проявления кислого и субщелочного метасоматоза — 1 балл.

2. Продуктивность комплексных аномалий (здесь приводятся значения параметров при прогнозе только золоторудных объектов): а) наиболее перспективные аномалии: продуктивности нанохимических аномалий золота ($P_{\text{НА}}$) и ореолов метасоматически измененных пород ($P_{\text{МО}}$) ≥ 20 у.е. — 2 балла; б) перспективные аномалии: продуктивность нанохимических аномалий золота ≥ 10 , продуктивность ореолов метасоматически измененных пород ≥ 40 — 1 балл.

3. Прогнозные ресурсы аномалий, соответствующие крупному месторождению, — 3 балла, среднему — 2 балла, мелкому — 1 балл.

4. Минеральный состав оруденения: прогнозируемые ареалы распространения минералов-спутников золотого оруденения — 1 балл.

По сумме баллов Σ комплексные аномалии дифференцируются на три категории перспективности:

$\Sigma \geq 5$ — высокоперспективные аномалии 1-й очереди изучения;

$\Sigma = 3-4$ — перспективные аномалии 2-й очереди изучения;

$\Sigma < 3$ — малоперспективные аномалии и аномалии с неясными перспективами.

По результатам апробации рассматриваемой технологии в пределах Пионер-Покровского золоторудного района геометризованы 20 минералого-геохимических аномалий (рис. 3), дифференцированных на высокоперспективные и перспективные на выявление золоторудных полей. По результатам опытно-методических работ (технология МАСФ), целевым назначением которых являлась оценка природы аномалий, выделенных дистанционными методами, попутно расширены перспективы ближних флангов месторождений Покровское и Пионер. Уровень локализации в Пионер-Покровском районе дистанционными методами для дальнейших поисков составляет 20 %, что позволяет сократить, в данном случае в разы, трудозатраты и асигнования на проведение наземных геохимических работ с использованием эффективных на закрытых территориях, но дорогостоящих методов, ориентированных на выявление наложенных сорбционно-солевых вторичных ореолов (МАСФ).

В логическом развитии созданных методических основ геохимического картирования представляется актуальным продолжение исследований по усовершенствованию и внедрению на стадии регионального геологического изучения технологии оперативной прогнозной оценки закрытых территорий по комплексу дистанционных и наземных геохимических методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полузакрытых территориях / С.В. Соколов, А.Г. Марченко, С.С. Шевченко и др. — СПб.: Изд. ВСЕГЕИ, 2005.
2. Кирсанов А.А., Липияйнен К.Л., Смирнов М.Ю. Опыт применения аэро- и космических гиперспектральных данных при решении геолого-

разведочных задач / Новые технологии обработки и использования данных дистанционного зондирования Земли в геологоразведочных работах и при ведении мониторинга опасных геологических процессов: Материалы 2-й междунар. конф. — СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. — С. 25–28.

3. Морозов А.Ф., Приходько Е.Ф., Володько С.А. Поиск месторождений полезных ископаемых на основе выявления нанопылевых аномалий // Региональная геология и металлогения. — 2011. — № 48. — С. 70–78.

4. Патент РФ № 2330259 от 07.08.2006. Геохимический способ поисков месторождений полезных ископаемых / О.В. Петров, С.С. Шевченко, С.В. Соколов и др.

5. Соколов С.В. Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения. — СПб.: Наука, 1998.

6. Соколов С.В. Методика прогноза и оценки ресурсного потенциала рудных полей, узлов и районов по потокам рассеяния на стадиях регионального изучения недр и прогнозно-поисковых работ / Прикладная геохимия. Вып. 5: Компьютерные технологии. — М.: ИМГРЭ, 2004. — С. 5–44.

7. Соколов С.В., Амантов В.А., Петров Е.О., Халенев В.О. Шлихогеохимический метод прогноза потенциально золотоносных площадей в платформенных структурах России (на примере Северо-Запада Русской платформы) // Сучасні економічні можливості розвитку та реалізації мінерально-сировинної бази України і Росії в умовах глобалізації ринку мінеральної сировини. — Киев, 2005. — С. 252–255.

8. Соколов С.В., Шевченко С.С. Задачи повышения эффективности геохимических работ поисковой геохимии / Прикладная геохимия. Вып. 8: Проблемы поисковой геохимии. Т. 2. — М.: ИМГРЭ, 2008. — С. 3–15.

9. Соловов А.П., Матвеев А.А. Геохимические методы поисков рудных месторождений. — М.: Изд-во МГУ, 1985.

10. Требования к геохимической основе Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (новая редакция). — М.: ИМГРЭ, 2005.

11. Abrams M.J., Brown D. Silver Bell, Arizona, porphyry copper test site / The Joint NASA-Geosat test case study. Section 4. American Association of Petroleum Geologists. — Tulsa, 1985.

12. Sabins F.F. Remote Sensing. Principles and Interpretation. — New York, 1997.

© Коллектив авторов, 2015

Соколов Сергей Валерьевич // sergey_sokolov@vsegei.ru
Володько Сергей Алексеевич // volodko1947@yandex.ru
Юрченко Юрий Юльевич // Yuri_Yurchenko@vsegei.ru
Приходько Евгений Филиппович // gantimureu@gmail.com

УДК 550.4:552.31

Гущин А.В., Гусев Г.С. (ФГУП «ИМГРЭ»)

ПРОБЛЕМЫ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЭТАЛОННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВЕК

Предлагается помимо критериев литофильной, халькофильной и сидерофильной специализации ввести в практику региональных геохимических работ анализ факторов геодинамической, щелочной, ультрамагнезиальной, калиевой, агпаитовой и плюмазитовой специализации, влияющих на концентрации элементов-примесей, оценки фоновых содержаний, интерпретацию АГХП, критерии диагностики тектонических (геодинамических) обстановок. Рассмотрены возможные разновидности и ранги категорий геохимической специализации, примеры влияния отмеченных факторов на содержания крупноионных, высокозарядных, радиоактивных, редкоземельных, сидерофильных и халькофильных элементов. Выводы основаны на сравнении петрогеохимических типов вулканических пород несубдукционных и субдукционных геодинамических обстановок. **Ключевые слова:** вулканы, факторы гео-