

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Амурский государственный университет»
(ФГБОУ ВПО «АмГУ»)

Кафедра геологии и природопользования

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»**

по специальности:

***130101.65 Геологическая съемка поиски и разведка
месторождений полезных ископаемых***

Благовещенск 2014

ББК 26.3я73

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета
Амурского государственного
университета*

Б90

*Разработано в рамках реализации гранта «Подготовка высококвалифицированных кадров в сфере горно-металлургического кластера Амурской области» по заказу предприятия ЗАО УК «Петропавловск»
Издаётся по решению кафедры геологии и природопользования инженерно-физического факультета Амурского государственного университета в рамках выполнения программы «Кадры для региона»*

Рецензенты:

Мельников А.В., ведущий научный сотрудник Института геологии и природопользования, канд. геол.-минер. наук;

Стриха В.Е., профессор кафедры геологии и природопользования АмГУ, доктор геол.-мин. наук

Бучко И.В. Методическое указание к выполнению самостоятельной работы по дисциплине «Геохимические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Методическое указание для самостоятельной работы/ Бучко И.В. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2014. - 36с.

Методическое указание составлено в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по специальностям 130301.65 «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», 130101.65 «Прикладная геология».

Методическое указание предназначено для студентов кафедры геологии и природопользования инженерно-физического факультета АмГУ.

ББК 26.3я73

© Амурский государственный университет, 2014

Оглавление

1. Литохимические методы поисков	4
2. Гидрогеохимический метод	12
3. Биогеохимические поиски.....	16
4. Атмогеохимические (газовые) поиски	20
5. Условия применения геохимических методов поисков	22
6. Проектирование и организация геохимических работ	26
7. Требования к содержанию геохимических работ по стадиям геологоразведочного процесса	31

1.Литохимические методы поисков

Литогеохимический метод наиболее распространен и применяется при поисках месторождений полезных ископаемых, создающих отчетливые аномалии в коренных и рыхлых породах. Особенности применения методики зависят от степени обнаженности района. В зависимости от поставленной задачи литогеохимические исследования делятся на региональные (1:200 000—1:100 000); собственно поисковые (1:50 000—1:25 000) и детальные (1:10 000).

Опробование по первичным ореолам рассеяния на поверхности на хорошо обнаженных участках проводится по коренным породам в обнажениях и элювиальных высыпках и глыбовых развалах. Отбор сколков пород размером до 30-40 мм (до 30-40 г весом) проводится пунктирной бороздой с помощью молотка или зубила в пределах площадки размером 1×1 м. Стандартная масса пробы в России – 150-200 г, в Канаде и США при поисках принято отбирать пробы весом 2-4 кг (что соответствует штучным или точечным пробам в нашем понимании) при сокращении их общего количества.

Для обнаружение оруденения предпочтительно отбирать пробы из максимально минерализованных, измененных пород.

Опробование по первичным ореолам результативно для поисков крупнообъемных месторождений, сопровождаемых мощными метасоматическими ореолами (колчеданные, порфировые, штокверковые, мощные минерализованные зоны и залежи). Эти ореолы содержат те же рудные минералы, что и промышленные рудные тела, но в меньшей концентрации. Характерно, что измененные окolorудные породы, ныне рассматриваемые как первичные ореолы рассеяния, по мере развития технологий обогащения ПИ, роста дефицита многих видов ПИ и цен на них, переходят из разряда окolorудных пород в категорию промышленных руд.

Следует также обратить особое внимание на то, что мощные первичные ореолы развиты не только в породах, в которых локализованы рудные тела, но и в перекрывающих их более молодых толщах. Например, глубоко залегающие в эйфельских эффузивах карамалыташской свиты среднего девона залежи медно-цинковых колчеданных руд крупного Подольского месторождения (Хайбуллинский район РБ) перекрыты живетскими туффитами улутауской свиты мощностью 300-800 м. Тем не менее по всему разрезу надрудной толщи (от контакта с рудными зонами до дневной поверхности) прослеживаются сложные по форме аномалии меди, цинка, свинца, серебра,

бария – характерных элементов колчеданных руд. Это доказывает долго живущую геохимическую активность месторождений, не заканчивающуюся на этапе отложения основной массы руд, и превращает геохимические методы в эффективный инструмент прогноза и поисков глубоко залегающих месторождений.

Пробы из коренных пород подвергаются дроблению до 1 мм, издробленный материал истирается до 0,07 мм с последующим сокращением объема пробы путем квартования и конечным отбором навески весом обычно 1 г, которая отдается на анализ. Для получения надежных результатов крайне важно добиться именно такого тонкого истирания (а не 0,1 или 0,2 мм).

Ход маршрута (независимо, по геометрически правильной, инструментально разбитой сети профилей, или по естественным коренным обнажениям) отображается в журнале опробования, где фиксируется дата маршрута, его географическое положение и топографическая привязка начала и конца, общий абрис маршрута, полевая диагностика вещества отобранных проб с особым вниманием к эпигенетическим изменениям коренных пород – ожелезнению, сульфидизации, окварцеванию, хлоритизации, карбонатизации, наличию графитистого вещества, природных битумов и др.

Следует помнить о недопустимости отбора проб поочередно то из рыхлых, то из коренных пород – следует брать из одного типа пород.

Для маломощных жильных тел, сопровождаемых такими же маломощными ореолами околорудных изменений, опробование по первичным ореолам не продуктивно.

В слабо обнаженных участках с мощностью рыхлого покрова 0,2-10 м опробование проводится по **вторичным ореолам рассеяния** – т.е. по поверхности элювия, делювия или низам рыхлого разреза. При небольшой мощности рыхлых отложений коренные породы могут вскрываться копушами с помощью молотка, лопаты, кайла. При повышенной мощности рыхлый разрез проходится мотобуром на бензиновом моторе.

При наличии сплошного, хотя и относительно маломощного покрова рыхлых пород и при поисках маломощных жильных тел предпочтителен отбор проб из рыхлых пород на поверхности (площадное металлометрическое опробование рыхлых элювиально-делювиальных пород по геометрически правильной сети размером от 500×50 м до 100×10 м, либо донное опробование по потокам рассеяния из аллювиальных отложений водотоков).

Параметры сети обычно определены из опыта проведения работ данного масштаба в каждом конкретном районе.

Отбираются наиболее тонкозернистые разности осадков, по возможности без растительных осадков и крупных обломков. Перед отбором пробы проходится копуш глубиной не менее 15-25 см. Вес начальных проб из рыхлых отложений -300-500 г.

Методическое отличие металлотрического и донного опробования заключается не только в опробовании разнотипных (элювиально-делювиальных в первом случае и аллювиальных – во втором) осадков. Металлотрическая съемка проводится по параллельным профилям, начала и концы которых «привязаны» к инструментально разбитым магистралям, с закреплением их на местности особыми знаками. Каждая точка (пикет) опробования отмечается рейкой с соответствующей надписью (№ профиля, № пикета). Это необходимо для того, чтобы в случае выявления высокого (в том числе промышленного) содержания искомого химического элемента можно было найти на местности точку отбора пробы для более детальных исследований. В крайнем случае, обозначают хотя бы крайние пробы и пробы на приметных точках местности - рейками, каменными турами, затесами на деревьях, надписями на скалах и т.д. с обозначением профиля и номера пробы. В настоящее время становится общепринятой практика фиксации координат точек пробоотбора приборами типа GPS, что значительно упрощает процедуру привязки и последующей обработки результатов опробования.

Донное опробование в силу своей привязки к конкретным водотокам не нуждается в инструментальном закреплении точек отбора, кроме того, невозможно в принципе точно указать, за счет какого участка водосбора образовались аномальные богатые участки донных отложений. Таким образом, «донка» обобщенно характеризует весь бассейн данного водотока, от его водоразделов и истоков до данной конкретной точки отбора пробы включительно. Вместе с тем «донка» намного дешевле, легче и оперативнее в исполнении, чем площадная металлотрия. Шаг отбора донных проб по водотоку (обычно отбираемых при общих поисках, сопровождающих геологическую съемку масштабов 1:200 000 – 1:50 000) зависит от масштаба поисков и меняется от 200 м до 1-2 км. Важно обеспечить «вывершивание» водотока – т.е. нужно дойти с опробованием до его истока.

Для усиления контрастности выявляемых аномалий (обычно при поисках ценных минералов со значительным удельным весом) нередко применяется комбинация шлихового и литохимического опробования – промывкой грунта отбирается «серый шлик» весом 100-200 г, часть его анализируется с целью изучения минерального состава, а часть идет на спектральный анализ.

При отсутствии достаточно густой сети водотоков (засушливые районы, маловодные водоразделы) донное опробование может успешно проводиться по руслам

долин и оврагов временных (обычно сухих) ручьев, берегам озер, степным мочажинам. В условиях вечной мерзлоты термокарстовые озера нередко «протапливают» мерзлоту на большую мощность (100 м и более) и в условиях круговорота веществ в озерной экосистеме способны обеспечить значительную глубинность метода.

В районах с мощностью рыхлых отложений более 10 м опробование может вестись мелкими картировочными скважинами (установки типа КГК) с отбором проб из низов рыхлого разреза и (или) вскрытой части коренных пород. При проходке скважин опробуются керн и шлам. Вопреки распространенным мнениям, что опробование поверхности в таких участках неэффективно, практикой доказано, что пробы с поверхности (особенно из отложений озер, болот) способны дать ценную информацию о погребенных рудных телах на глубине до 100 м и более. Примеры – выявление высококонтрастных аномалий золота и меди («геохимических столбов») в неоген-четвертичных отложениях мощностью 70 м над Юбилейным медно-цинковым месторождением в Хайбулинском районе РБ (содержание меди до 1%, золота до 1 г/т); высококонтрастные аномалии золота (до $10^{-5}\%$) и олова (до 0,2%) в донных песчано-алевритовых отложениях некоторых тундровых речек на низменности Колымо-Алазейского междуречья при мощности кайнозойского чехла до 1 км и более, предположительно связанные с погребенными россыпями.

Ход маршрута (независимо, по геометрически правильной, инструментально разбитой сети профилей, или по водотокам) отображается в журнале опробования, где фиксируется дата маршрута, его географическое положение и топографическая привязка начала и конца, геоморфологическая позиция (склон, водораздел, долина и т.д.) и общий абрис маршрута, краткое описание вещества отобранных проб (суглинок, глина, ил, песок и т.д.). При детальном поиске геохимическое опробование (и по первичным и по вторичным ореолам) проводится по скважинам и горным выработкам. Обычный способ опробования – равномерный (пунктирно-бороздовый) отбор сколков весом до 30 г в пробу общим весом 300-500 г по интервалам скважины или выработки длиной 5 м.

Пробы из рыхлых пород подвергаются сушке, просеиванию с отбором навески весом не менее 50 г, её истиранию до 0,07 мм с последующим сокращением объема пробы путем квартования и конечным отбором навески весом обычно 1 г, отправляемой на анализ.

Наиболее массовым способом анализа геохимических проб является полуколичественный спектральный и его разновидности (золото-спектральный и др.). Он дает приближенно-количественное определение порядка содержаний элементов (например, для цветных металлов, меди и других, шаг значений $1 \times 10^{-3}\%$, $3 \times 10^{-3}\%$, $5 \times 10^{-3}\%$).

3% , $7 \times 10^{-3}\%$, $10 \times 10^{-3}\%$, $30 \times 10^{-3}\%$, $50 \times 10^{-3}\%$, $70 \times 10^{-3}\%$, $100 \times 10^{-3}\%$, $300 \times 10^{-3}\%$, $500 \times 10^{-3}\%$, $700 \times 10^{-3}\%$, 1% , более 1%). Применяются также атомно-абсорбционный, фотометрический, нейтронно-активационный и др. методы анализа.

Исторически наиболее ранними методами анализа, до сих пор не утратившими значения, являются специализированные виды анализа – на медь (купрометрический), свинец (плюометрический) и др. Они проводятся с помощью легко выполнимых качественных реакций на эти металлы и могут оперативно давать результаты непосредственно в поле, в том числе прямо на точке опробования. Качественная микрореакция на свинец была бы весьма информативна на месторождениях Баймакского района, где наличие повышенных концентраций в коренных породах и корах выветривания прямо указывает на присутствие серебра, а сереброносность пород – характерный признак золотоносности.

Математическая обработка результатов литогеохимических проб основана на выборе статистических группировок (выборок) и вычислении определенных показателей – фоновых и аномальных содержаний, кларков концентраций, коэффициентов корреляции, вариации, дисперсии и др. Для расчетов этих показателей применяют специальные программы ЭВМ. Нормирование аномальных содержаний обычно проводится по отношению содержаний в выборках к местному фону, начиная со значения 3. Нередко рассчитываются аддитивные (суммарные) ореолы с суммированием содержаний типоморфных (максимально информативных для конкретного типа оруденения) элементов, либо мультипликативных (произведение содержаний элементов).

Для элементов с низкой встречаемостью в анализах из-за значительного превышения нижнего предела чувствительности анализа над их концентрацией в природе (золото, платина и элементы платиновой группы, а также барий, сурьма, ртуть и некоторые другие) любое появление содержаний в лабораторном сообщении, даже в единичных пробах – это уже аномалия.

Часто рассчитывается отношение произведений надрудных и подрудных элементов для определения уровня эрозионного среза. К этим построениям следует относиться с определенной осторожностью; иногда в пределах одного месторождения и даже одного рудного тела по его падению ритмично чередуются участки с «верхнерудным», «среднерудным» и «нижнерудным» соотношением элементов, соответствующие участкам с различной продуктивностью. Такая особенность выявилась при разведке богатых рудных столбов в золоторудном месторождении Бадран в Вост. Якутии.

Эффективность любого вида литогеохимического опробования зависит не только от их правильного выбора в условиях конкретного района работ, но и от

добросовестности и квалификации исполнителей, а также качества применяемого **лабораторного оборудования**. Излишне говорить, что в случае отбора нерадивым исполнителем проб с одной и той же точки, или массово перепутанных номеров проб, или неверном нанесении на карту линий опробования анализ аномалий становится бессмысленным занятием. Такой же характер «сизифова труда» имеет литохимическое опробование (часто неоднократное на одной и той же площади) с обработкой проб на изношенном оборудовании, анализом на устаревших приборах и примитивным подходом к анализу полученных данных. В качестве типичного примера бракового характера таких многократных работ со значительными затратами труда и средств можно привести многолетние литохимические поиски по первичным ореолам рассеяния (в самом дорогом скважинном варианте) в Башкирии. К основным недостаткам этих работ можно отнести следующее:

- определяющие показатели – минимально аномальные содержания элементов-индикаторов в пробах, относимых к аномальным (медь, цинк, свинец, молибден, барий) – весьма занижены; по серебру – завышены;

- размеры и пространственное положение эндогенных ореолов на разрезах не увязаны с их контурами на плане, а в случаях частичного совпадения ореолов их элементные составы не соответствуют друг другу;

- геохимические исследования в период с 1960-ых годов до 2000-ых гг. базировались на отборе и анализе геохимических проб из керна скважин. Пробы отбирались сколками по интервалам, средняя длина которых составляла 4-5 м, и анализировались на 10-12 элементов; содержания золота в потенциально золотоносных интервалах не определялись;

- обработка анализов заключалась «в определении статистических характеристик распределений по типам пород вне зон гидротермально-метасоматических изменений и выделении аномальных значений для доверительной вероятности 970,5% и более», но в связи с низкой чувствительностью анализов (что означает неудовлетворительный предел обнаружения элементов спектральным анализом) выборки по неизменным участкам оказались непредставительными для Ba, As, Sn, Sb, Au. По этой же причине большая часть определений для других элементов также оказалась незначимой;

- формально статистический подход при обработке пространственных геохимических данных по рудным объектам Башкирии достаточно примитивен по исполнению. Для характеристики геохимической зональности рудных полей были построены поэлементные карты ореолов для 5 разрезов. В целом, полученные данные даже сами авторы сочли неполными «в связи с отсутствием данных по золоту и другим

элементам, а также в связи с чрезмерно упрощенной методикой интерпретации результатов».

Во многих отчетах в виде результатов работ выделены перспективные геохимические аномалии, которые так и не были заверены, отчасти из-за позднего поступления лабораторных результатов геохимии.

В то же время недавно (впервые в Башкортостане) проведенное силами НПО «Аэрогеология» квалифицированное донное опробование на территории листов карты масштаба 1:200 000 N-40-XXIX и N-40-XXXV (Абзелиловский и Баймакский рудные районы), будучи по определению намного более простым и дешевым методом, чем скважинная литохимия, позволило радикально пересмотреть перспективы этих районов в сторону их увеличения, дав обширный фактический материал для планирования новых поисковых работ, в том числе на нетрадиционные для района типы месторождений (например, медно-порфиновые).

Примеры крупнейших открытий в СССР с помощью литогеохимического метода – гигантское узбекское месторождение золота Мурунтау (запасы около 4 тыс.т золота), выявленное в конце 1960-ых годов при изучении очень крупной по площади аномалии золота и мышьяка. Здесь с античных времен известны и разрабатывались небольшие разрозненные кварцевые жилы с богатым золотом, не считавшееся в советские времена перспективными промышленными объектами. После выявления высококонтрастной аномалии, не объяснимой известными жилами, возникла задача её объяснения, и поисковыми работами были выявлены мощные зоны неконтрастных руд (окварцованных метасоматитов с убогой сульфидной вкрапленностью). Другой пример – месторождение Кумтор (700 т золота), открытое в 1978 г. в Киргизии при геологической съемке по первичному ореолу золота на выходе коренных пород среди ледника. Здесь рудой являются пиритизированные черные рассланцованные алевролиты, причем вкрапленники пирита столь мелкие, что почти не различимы глазом. Если бы не геохимическая аномалия, эти невзрачные с точки зрения поисковика руды, внешне не отличимые от обычных терригенных пород, вряд ли привлекли бы внимание.

Из месторождений, недавно открытых геохимическим методом, можно выделить крупнейшее месторождение Эскондида в Чили, запасы меди которого составляют 28 млн.т при среднем содержании меди в руде 1,59%.

В Китае за 1990-ые гг. в результате проведения региональных геохимических работ масштаба 1:1 000 000 - 1:200 000 (с широким использованием методических разработок бывшего СССР в области прикладной геохимии) с последующей заверкой выявленных

аномалий и детальных поисков на выделенных перспективных площадях были установлены 579 месторождений, в т.ч. 54 крупных и 165 средних.

Научно-теоретическое значение геохимических исследований рудных полей и узлов проявляется в раскрытии генетических закономерностей образования месторождений полезных ископаемых. Так, например, детальное геохимическое изучение околорудных ореолов (с шагом опробования от первых метров до десятков сантиметров) позволило установить важные для понимания генезиса руд особенности неоднократного перераспределения металлов в системе рудоматеринские вмещающие породы – аномальный геохимический ореол – мощная зона прожилково-вкрапленных руд – поздние маломощные кварцевые жилы с максимальным содержанием металла. Каждая новая «ступень» накопления металла, обычно более богатая и меньшая по размеру, чем предшествующая, нередко отделяется от области предшествующего накопления металла зоной выноса металла, вплоть до его исчезновения в сообщениях лабораторных анализов. По внешнему контуру положительной геохимической аномалии выделяются отрицательные аномалии того же металла, зоны бедных вкрапленных руд также отделяются от вмещающей аномалии полосой обедненных пород, богатые кварцевые жилы изолированы от прожилково-вкрапленных кварц-сульфидных руд безрудными контурами мощностью до нескольких метров. Подобная закономерность наблюдается на крупных месторождениях золота Нежданинское (Вост. Якутия) и Сухой Лог (Иркутская область). Без учета этой закономерности можно легко пропустить крупное месторождение прожилково-вкрапленных руд, ограничив представление об объекте, как мелком жильном месторождении.

С учетом известного факта о вертикальном дренаже углеводородов (УВ) вплоть до поверхности (с образованием продуктов их окисления в виде битумов, асфальтитов, мальт) и способности УВ сорбировать такие элементы, как Cu, V, Ni, Co, Zn, Hg, U, становится актуальной задача выявления и поисковой заверки литохимических аномалий названных элементов, как индикаторов глубоко залегающих месторождений УВ. С этих позиций интересны высококонтрастные аномалии никеля, меди, цинка, а также шлиховые ореолы киновари (HgS), выявленные при геологической съемке в почвах и верхнепермских терригенных отложениях Предуральяского прогиба и прилегающей части Русской платформы в бассейне р. Мелеуз (юг Башкирии).

2. Гидрогеохимический метод

Выявление геохимических аномалий в подземных и поверхностных водах основано на исследовании химического состава в реках, ручьях, озерах, болотах, родниках, скважинах, колодцах, шахтах и т.д. Принципиальную основу этого метода составляют способность воды к растворению пород, ее участие в химических превращениях минералов и свойства воды как подвижной среды. Связь между химическим составом воды и наличием вблизи водоисточника залежей полезных ископаемых не вызывает сомнений и является одной из причин возникновения гидрохимических аномалий, имеющих поисковое значение.

Наиболее эффективно применение гидрогеохимического метода для поисков месторождений полезных ископаемых, находящихся в следующих условиях:

- 1) на участках, перекрытых мощным чехлом приносных отложений, где неэффективны другие виды геохимических поисков;
- 2) в резко расчлененных высокогорных районах, где из-за специфических условий дренажа подземных вод метод становится не только более глубинным, но и возможна более точная интерпретация гидрогеохимических аномалий;
- 3) в платформенных условиях при вероятном залегании тел полезных ископаемых ниже местных базисов эрозии.

В зависимости от поставленной задачи гидрохимические исследования можно разделить на: 1) региональные (1:200 000-1:100 000); 2) собственно поисковые (1:50 000—1:25 000); 3) детальные (1:10 000 и крупнее).

Региональные исследования способствуют выяснению общей геохимической и гидрогеохимической характеристики региона и выделению наиболее перспективных территорий, поэтому рассматриваемый этап имеет особое значение в гидрогеохимических исследованиях. В пробах, отобранных на это этапе, должно определяться содержание максимального числа индикаторов полезных ископаемых, вероятных для изучаемого региона. По материалам региональных гидрохимических исследований составляются карты общего химического и микрокомпонентного состава вод. На карте общего химического состава выделяются генетические типы вод, и приводится их химический состав. Эта карта составляется на гидрогеологической основе с учетом ландшафтно-геохимических условий. На карте микрокомпонентного состава выделяются участки, различающиеся по комплексу микрокомпонентов, а в их пределах — площади с аномальными содержаниями одного или нескольких элементов-индикаторов. Итогом изучения распределения элементов-индикаторов в водах, опробованных при

региональных исследованиях, является выделение участков, перспективных для поисков различных полезных ископаемых.

Собственно поисковые исследования проводятся: на перспективных площадях для выявления гидрогеохимических ореолов и выделения участков для постановки детальных работ.

Детальные исследования ведутся для оконтуривания месторождений, а в определенных случаях — отдельных тел полезных ископаемых, на перспективных участках, выявленных предыдущими исследованиями.

Данные, полученные при средне- и крупномасштабных гидрохимических исследованиях, служат основой для выделения гидрохимических аномалий и установления их пространственной связи с местоположением рудных тел.

Наиболее благоприятными объектами для гидрохимических поисков являются месторождения минеральных солей — различных природных хлоридов и сульфатов, а также йодных, бромных, литиевых и других рассолов. Суммарное содержание этих соединений в природных рассолах может превышать 350 г/л, и они способны устойчиво сохраняться в природных растворах, в итоге определяя солевой состав океанической воды (сумма солей 35,6 г/л). Учитывая, что общая минерализация природных пресных, в том числе речных, вод обычно составляет 1,0—0,5 г/л, можно оценить тот диапазон, в котором могут лежать аномальные содержания солей в поверхностных и подземных водах суши.

Из рудных месторождений наиболее благоприятными объектами для гидрохимических поисков являются сульфидные, главным образом колчеданно-полиметаллические, и, особенно, богатые дисульфидами медноколчеданные месторождения. Природные воды обогащаются рудными элементами в основном при окислении сульфидных руд, в ходе которого неустойчивые сульфиды проходят стадию легкорастворимых сульфатов, прежде чем превращаются в устойчивые вторичные минералы.

Несмотря на процессы самоочищения природных вод от содержаний рудных элементов, их повышенные, аномальные концентрации сохраняются в речных и подземных водах на расстояниях до 500—1000 м, иногда до нескольких километров от месторождений. Определяется это разнообразием форм нахождения рудных элементов в сложных многокомпонентных системах, которые представляют собой природные воды. Миграция рудных элементов в водах протекает в виде простых ионов, комплексных неорганических соединений с различными лигандами, в частности в анионной форме, а также в виде различных металлорганических соединений (обычно солей гумусных кислот) повышенной растворимости. Практика гидрохимических исследований подтверждает

реальность обнаружения при поисках водных ореолов и потоков рассеяния рудных месторождений.

Результаты гидрохимического метода зависят от сезонных колебаний уровня грунтовых вод, выпадения атмосферных осадков и режима гидростока рек, за короткий отрезок времени изменяющегося в сотни раз. Это определяет неустойчивость количественных параметров гидрохимического фона — переменные значения фонового содержания C_f большую или неизвестную величину стандартного множителя e , плохую воспроизводимость и малую контрастность гидрохимических аномалий.

Очень эффективная область применения гидрохимического метода — поиски урановых гидрогенных (инфильтрационных) месторождений в зонах пластового окисления в аридных климатических и палеоклиматических областях. Рудные тела этих месторождений, получившие название “роллов”, формируются из природных вод на восстановительном барьере. Богатые кислородом атмосферные осадки, фильтруясь через гранитоиды, гнейсы, сланцы и другие горные породы, способны обогащаться шестивалентным ураном, хотя содержание в них этого элемента в фильтруемых породах обычно лишь немного выше фонового. Поступая в водоносный горизонт осадочных отложений артезианских бассейнов (предгорные равнины, межгорные впадины и т.д.), эти воды расходуют свой кислород на окисление органического вещества, закисного железа и пирита — обычных компонентов песчаных и галечных фаций, отлагавшихся в восстановительных условиях морского или речного дна. На границе между окисленной и неокисленной частями пласта возникает резкая смена геохимических условий, и на восстановительном барьере происходит осаждение четырехвалентного урана, вплоть до формирования промышленных руд. Содержание в пластовых водах, после прохождения ими восстановительного барьера, падает на целый порядок — до $n \times 10^{-6}$ г/л. В данной ситуации в задачу гидрохимических поисков входит локализация интервала подземных вод, в котором происходит смена окислительных условий на восстановительные, сопровождаемая снижением содержания урана в водах. Эта задача успешно решается путем гидрохимического опробования скважин и (или) родников. Аналогичным образом могут формироваться гидрогенные месторождения меди, молибдена и селена — элементов с переменной валентностью, способных к отложению на восстановительном барьере. В этих случаях гидрохимический метод незаменим при решении поисковой задачи.

Пробы воды отбираются в полиэтиленовые емкости, которые перед заполнением рекомендуется ополаскивать водой из опробуемого источника. Обработка проб

заключается в концентрировании химических элементов путем выпаривания воды с осаждением реагентами, активированным углем и т.д.

Расчет всех фоновых и аномальных содержаний осуществляется дифференцированно по отношению к опробуемым типам вод, водоносным комплексам и геохимическим ландшафтам. При значительном изменении минерализации вод иногда возникают затруднения в разбраковке аномалий. В этих случаях целесообразно использовать следующие отношения содержаний отдельных компонентов между собой и общей минерализацией воды:

SO_4/M ; SO_4/Cl ; B/Cl ; SO_4/HCO_3 ; Zn/M ; B/M и т.д.;

где M — общая минерализация воды в точке отбора.

В случае их существенного отличия от аналогичных отношений, вычисленных для заведомо безрудных участков, они могут являться одним из косвенных поисковых признаков.

В итоге по результатам гидрохимических исследований должна быть составлена карта перспективных участков, при большом числе которых необходимо выделять первоочередные участки.

С помощью гидрогеохимического метода в СССР открыты крупные месторождения – Гайское медноколчеданное, Соликамское калийных солей.

Имеется опыт применения своеобразного гидрогеохимического метода (снеговая съемка) при поисках углеводородов (УВ) на Ямале. Для этого лицензионная площадь покрывалась равномерной сетью точек опробования 1х1 км с последующей детализацией выявленных аномалий. Пробы берутся специальным пробоотборником из нижнего слоя снега, сразу герметизируются металлическими крышками в банках емкостью 0,5 л, в течение 1-2 дней доставляются в лабораторию и в течение 5 дней анализируются. Путем термовакуумной дегазации из проб снега извлекаются сорбированные углеводородные газы с определением их состава. По итогам работ выявлены перспективные аномалии, требующие заверки бурением. Следует подчеркнуть, что наличие мощной «вечной» мерзлоты не является препятствием для миграции углеводородных газов на поверхность. При этом геохимические методы намного дешевле традиционной при поисках УВ сейсморазведки.

3. Биогеохимические поиски

Биогеохимические поиски месторождений полезных ископаемых основаны на исследовании химического состава живого вещества, как правило, состава растений. Между химическим составом живых организмов и составом среды обитания существует бесспорная зависимость, в предельных случаях проявленная сменой их видового состава, усиленным или угнетённым развитием и появлением морфологических особенностей. Современные биогеохимические поиски связаны с химическим анализом вещества, наблюдения над видовым составом и морфологическими особенностями растительности составляют предмет геоботанических исследований.

В результате исследований неизменно подтверждалось наличие биогеохимических аномалий в химическом составе растений, произрастающих над месторождениями меди, цинка, серебра, свинца, урана, молибдена, никеля, бора, золота и других полезных ископаемых. Обычно эти биогеохимические съёмки проводились путем опробования одного или нескольких господствующих видов растений, озоления растительного вещества и спектрального анализа полученной золы.

Для характеристики геологической роли биогенной миграции микроэлементов предложена величина отношения между содержаниями элемента в золе растения и в почве, на которой оно произрастает. Этот показатель получил название коэффициента биологического поглощения и обозначается A_x : $A_x = C_2/C_1$,

где C_2 — содержание элемента в золе растения, % или г/т; C_1 — содержание этого элемента в почве.

Применение биогеохимических поисков целесообразно в тех случаях, когда они обладают преимуществом перед более простыми литохимическими и гидрогеохимическими поисками. Биогеохимический метод является одним из наиболее эффективных методов в следующих ландшафтно-геохимических и климатических зонах:

1) гумидной зоне при замедленной денудации, если широкое развитие получили процессы выщелачивания элементов-индикаторов из элювиально-делювиальных отложений и кор выветривания;

2) гумидной и умеренно влажной зонах, если вторичные литохимические ореолы перекрыты дальнеприносимыми отложениями мощностью до 40 м, а в отдельных случаях—до 80 м;

3) пустынь или полупустынь аридной зоны, если вторичные литохимические ореолы или непосредственно рудные зоны перекрыты дальнеприносимыми отложениями мощностью до 20—40 м;

4) заболоченных равнин и торфяников при неглубоком (2-10 м) залегании потенциально рудовмещающих коренных пород;

5) на участках, покрытых сплошным моховым покровом, где отбор литохимических проб затруднен и связан с большими затратами;

6) на участках, покрытых плотным растительным покровом;

7) на участках, перекрытых крупноглыбовыми курумовыми осыпями, густо поросшими деревьями и кустарниками;

8) на болотах (при условии их промерзания и возможности зимнего отбора проб).

В зависимости от поставленной задачи биогеохимические исследования делятся на региональные (1:200 000—1:100 000); собственно поисковые (1:50 000—1:25 000) и детальные (1:10 000).

Региональные работы способствуют выяснению общей геохимической и биогеохимической характеристики районов, при их проведении возможно обнаружение биогеохимических ореолов части месторождений. Основным же заданием на этом этапе должно быть проведение опытно-методических исследований, обеспечивающих эффективное ведение поисков биогеохимическим методом на последующих этапах.

Собственно поисковые работы должны привести к обнаружению биогеохимических ореолов новых месторождений полезных ископаемых и установлению общих закономерностей их размещения. При проектировании глубинного геологического картирования с прогнозированием полезных ископаемых биогеохимические поиски должны предшествовать бурению, а их данные — учитываться для определения мест заложения скважин.

Детальные работы проводят с целью выявления и оконтуривания биогеохимических ореолов месторождений, отдельных рудных зон и тел.

Опытно-методические работы целесообразно проводить над известными рудными телами и безрудными участками и включать в их состав ботанические и биогеохимические исследования. При ботанических исследованиях определяют основные виды растений, произрастающих в данном районе, и составляют гербарий. С помощью биогеохимических опытных работ решают следующие задачи:

1) определение влияния фенологических фаз развития и возраста на содержание элементов-индикаторов в наиболее распространенных растениях района;

2) установление закономерностей распределения элементов-индикаторов по частям растений;

3) выявление особенностей связи между металлами в растениях;

- 4) установление у основных растений района физиологических барьеров поглощения элементов-индикаторов;
- 5) определение растений, наиболее пригодных для опробования;
- 6) выявление комплекса элементов-индикаторов, определение содержаний которых необходимо проводить в пробах;
- 7) установление морфологических и биохимических особенностей биогеохимических ореолов в зависимости от состава и размеров рудных тел и вторичных литохимических ореолов, от мощности рыхлых отложений, ландшафтно-геохимических условий;
- 8) определение в конкретных ландшафтно-геохимических условиях глубинности метода при отборе в пробы основных растений;
- 9) сопоставление результатов биогеохимических поисков с литохимическими;
- 10) установление различий в распределении основных элементов-индикаторов в одних и тех же растениях, произрастающих в различных ландшафтно-геохимических условиях.

Сеть пробоотбора при проведении биогеохимических исследований, ориентировка профилей и последовательность укрупнения масштаба работ должны соответствовать требованиям, предъявляемым к производству литохимических поисков по вторичным ореолам. Один вид растений должен опробоваться подряд не менее чем на пяти точках по профилю. При опробовании травянистых растений (соотношение между отдельными частями в которых всегда примерно одинаково) в пробу лучше брать всю надземную часть, кроме прикорневых листьев, загрязненных частичками почвы. При опробовании многолетних кустарников и деревьев в пробы всегда следует брать только одну и ту же часть растения (с кустарников и лиственных пород деревьев целесообразно отбирать в пробы листья, а с хвойных — прирост последнего года с хвоей).

Большое внимание при проведении биогеохимических поисков следует уделять биологическим барьерам поглощения элементов, а соответственно — “барьерным” и “безбарьерным” растениям. Изучение анализов многих десятков тысяч биогеохимических проб показывает, что физиологический барьер накопления металлов, обычно являющихся индикаторами оруденения, начинает действовать после получения растением такой их “порции”, которая превышает аномальное содержание этих же элементов в растении для данного ландшафта. Для каждого растения необходимо определять фоновое и аномальное содержания в каждом геохимическом ландшафте. Поступление повышенных содержаний каких-либо элементов в растениях вызывает нарушение ранее существовавших связей между элементами в организме.

В результате этого в растениях накапливается в аномальных концентрациях (повышенных или сниженных) ряд прямых и косвенных элементов-индикаторов. Примером является многократно отмечавшееся в районах развития золотых руд и россыпей накопление золота в стволах деревьев. Нередко фиксируемые в бурых и каменных углях аномально высокие содержания золота, платины, серебра свидетельствуют также о том, что избирательное накопление драгоценных металлов в растениях имело место и в геологическом прошлом. Известны также многочисленные случаи обогащения золы деревьев и трав цветными и редкими металлами вблизи месторождений. Торфяники - эффективный концентратор урана.

При отборе проб необходимо уделять внимание ботаническим признакам, указывающим на возможное нахождение месторождений полезных ископаемых. Такими признаками могут быть: 1) физиологические и морфологические изменения растений; 2) появление локальных и универсальных растений-индикаторов; 3) смена растительных ассоциаций, не объяснимая с точки зрения измерения экологических условий; 4) существенные отклонения в форме развития растений (раннее или позднее цветение, ранний или поздний опад листьев и т. п.); 5) признаки угнетения или не объяснимое другими причинами отсутствие растительности.

Наиболее типичными объектами опробования являются мхи, однотипные травы, ветви, хвоя, торф. Наиболее благоприятна для опробования осень.

Обработка проб включает следующие операции. Отобранные биогеохимические пробы в полевых условиях сушатся и измельчаются. В случае сильного запыления пробы нужно промыть дождевой или чистой речной водой. Ввиду опасности “вымывания” элементов промывание следует проводить как можно быстрее. Затем в лаборатории пробы подвергаются озолению в специальных печах. Полученную золу прокаливают в муфельных печах в течение 4—6 часов при температуре 500—600°C. В таких условиях в пробах выгорают органические вещества. Прокаленная зола растирается и передается для проведения спектрального анализа.

При необходимости определения в биогеохимических пробах легколетучих элементов (Hg, As, Sb и др.) пробы растворяют в кислоте (предварительно проверенной на отсутствие определяемых в пробах элементов) и анализируют раствор.

В настоящее время получил распространение рентгенорадиометрический экспресс-анализ проб растений, используемый при поисках хромитов, силикатно-оксидных никель-кобальтовых руд и др.

4. Атмогеохимические (газовые) поиски

Атмогеохимические (газовые) поиски месторождений полезных ископаемых основаны на исследовании состава подземной атмосферы — химического состава газов, насыщающих горные породы вблизи дневной поверхности. Если газовый пробоотбор ведется с малой глубины (не более 1—3 м), принято говорить об исследовании подпочвенного воздуха. При поисках углеводородов и других глубоко залегающих ПИ газовые съемки выполняются с глубиной пробоотбора 20-600 м. Реже исследуется газовый состав приземной атмосферы, хотя именно в этом варианте существенно возрастает оперативность атмохимической съёмки.

Атмосферу в основном слагают три газа — азот (около 78%), кислород (около 21%) и аргон (около 1%), в сумме составляющие 99,94% ее массы. В переменных количествах в атмосфере присутствуют пары воды; содержание CO_2 — около 0,03%, содержание остальных газов 10^{-4} – $10^{-6}\%$ и менее. Низкий геохимический фон и высокая подвижность химических элементов в газовой фазе создают благоприятные условия для формирования атмохимических ореолов рассеяния любых месторождений полезных ископаемых.

Основной объем атмогеохимических работ приходится на долю поисков нефтегазовых залежей. Природная нефтяная залежь представляет собой смесь жидких и газообразных углеводородов (УВ), метанового, нафтенового и ароматического рядов с примесью сернистых, азотистых, кислородных соединений и зольных остатков. Содержание углеводородов в нефтяных газах достигает 80-95%, а геохимический фон не превышает $2-4 \times 10^{-4}\%$. Такая огромная разность концентраций определяет процесс рассеяния УВ в окружающих породах. Любые горные породы обладают газопроницаемостью благодаря наличию в них пор и трещин. Под действием лито- и гидростатического давления движение УВ в порах и трещинах происходит в сторону дневной поверхности.

Пробы подземного воздуха при поисках УВ анализируются на CH_4 и другие углеводороды, гелий, CO_2 , H_2 , H_2S , радон.

Газортутные съёмки — косвенный метод поисков рудных месторождений, только для собственно ртутных месторождений он является прямым. В сульфидных минералах и месторождениях халькофильной группы элементов обнаруживаются существенно повышенные концентрации ртути, достигающие $\text{пх}0,1\%$, что в десятки тысяч раз превышает кларк литосферы. В зонах окисления медноколчеданных месторождений Зауралья (Учалинское, Сибайское и др.) содержание ртути (в том числе с образованием собственной минеральной фазы – киновари HgS) достигало такого значения, что она

добывалась попутно с золотом и серебром. Резкие пики содержания ртути отмечены также в зоне окисления рудных тел золото-сульфидного месторождения Муртыкты в Учалинском районе. Способность к накоплению ртути отмечается и для месторождений других полезных ископаемых, в т.ч. нефти и газа.

Все это, наряду с очень низким ($1,33 \cdot 10^{-9}$ мг/л) и устойчивым ($e=1,02$) геохимическим фоном обеспечивает газортутным съёмкам универсальность при поисках на закрытых и слабо обнаженных территориях. В то же время хорошо обнаженные участки неблагоприятны для газортутной съемки, т.к. ртуть здесь легко рассеивается в атмосферу и не создает аномалий.

Среди газов рудных месторождений выделяются три основные группы: 1) газы, сингенетичные процессу рудообразования; 2) газовые компоненты зон тектонических нарушений; 3) газы гипергенных процессов.

Газы всех трех групп в сумме определяют формирование многокомпонентных атмохимических ореолов рассеяния рудных месторождений.

При поисках рудных тел атмохимические методы следует использовать на участках, перекрытых толщей молодых отложений. Применение атмохимических методов поисков рудных месторождений наиболее целесообразно при масштабе исследований 1:50 000—1:10 000. Эти исследования могут проводиться как самостоятельно, так и в комплексе с другими геологоразведочными работами.

Проведению поисковых работ атмогеохимическими методами во всех новых районах должны предшествовать опытно-методические исследования, которые должны дать ответ на следующие вопросы: 1) образуются ли над телами ПИ в конкретной геологической и ландшафтно-геохимической обстановке газовые ореолы рассеяния; 2) какие элементы-индикаторы образуют аномалии; 3) какова оптимальная глубина пробоотбора; 4) каковы значения фоновых и аномальных содержаний, выбранных для поисков индикаторов; 5) являются ли в данных условиях атмохимические поиски более эффективными и дешевыми по сравнению с другими методами поисков.

5. Условия применения геохимических методов поисков

В настоящее время в практику поисковых работ более или менее широко внедрены пять геохимических методов: три разновидности литохимического метода (поиск по первичным ореолам, поиски по вторичным ореолам и по потокам рассеяния), гидрогеохимический и биохимический методы, успешно, но в ограниченных масштабах применяются атмосферические методы.

Возможность и целесообразность применения того или иного геохимического метода определяется прежде всего наличием на изучаемой площади и доступностью соответствующего объекта опробования. Например в хорошо оснащенных районах геохимическому опробованию подвергаются преимущественно коренные породы, в районах с широким развитием элювиально-делювиальных образований последние являются главными объектами геохимического опробования, на площадях, где коренные породы перекрыты аллювиальными, флювиогляционными, эоловыми отложениями мощностью до 10-20 м, наиболее обычным объектом опробования могут быть потоки рассеяния, в районах с расчлененным рельефом и обилием открытых водотоков и источников существенная часть отбираемых геохимических проб может быть представлена пробами природных вод.

Поскольку практически в пределах любого изучаемого геологосъемочной партией района (один или несколько листов карты масштаба 1: 50000 или 1:25 000 природные условия неоднородны, необходимо в процессе поисковых работ применять несколько методов, сообразуясь с изменением условий. В тех случаях, когда в пункте отбора геохимической пробы доступны для опробования коренная порода, элювий и вода, объект опробования выбирается исходя из поисковой задачи, подлежащий разрешению на данном этапе исследований.

Отдельная проба горной породы характеризует ее геохимические особенности в точку опробования. Экстраполяция и интерпретация полученных геохимических данных как поискового признака возможны только на основе детального изучения геологического строения участка, так как геохимические ореолы в горных породах вокруг тел полезных ископаемых контролируются либо определены разностями первичных и измененных пород, либо дизъюнктивными тектоническими нарушениями.

Анализ пробы элювиально-делювиальных образований или растений дает усредненную геохимическую характеристику горных пород, перекрытых элювиально-делювиальными образованиями. Полученные геохимические данные могут быть экстраполированы в определенном направлении (вверх по склону) на расстояние от

нескольких до десятков метров. Допустимая величина экстраполяции зависит от положения точки опробования в рельефе и от локальных особенностей природных факторов, влияющие на формирование вторичных ореолов. Из таких факторов наиболее существенны и легко поддаются учету : характер рельефа(крутизна и конфигурация склона);мощность, литологический и минеральный состав элювиально-делювиальных образований; обилие, гидротермальный режим и химический состав грунтовых вод; миграционные свойства искомым элементов в данной природной обстановке. При благоприятных сочетания упомянутых природных факторов в элювиально-делювиальных образованиях и растительном покрове формируются вторичные ореолы, по площади значительно превышающие источник рассеяния элементов – тело полезного ископаемого или его первичный ореол.

В глинистой и илистой фракции донных русловых осадков постоянных и временных естественных водотоков формируются иногда весьма протяженные потоки рассеяния некоторых химических элементов как за счет переноса минерального вещество в тонко измельченном состоянии так и за счет сорбции элементов и их соединений из водных растворов. Поскольку потоки рассеяния формируются за счет материала, попадающего в русло водотока со всей площади его водосбора, анализ пробы донных осадков дает представление о геохимической характеристике более или менее значительной площади. При этом могут быть обнаружены признаки наличия в пределах площади водосбора тел полезных ископаемых. Не только вскрытых, но и залегающих на некоторой глубине в зоне циркуляции грунтовых вод, поступающих в опробуемый водоток.

В природных водах формируются наиболее широкие ореолы и протяженные потоки рассеяния химических элементов –компонентов полезных ископаемых. В связи с этим аномальные содержания в пробе воды одного или нескольких элементов могут свидетельствовать о наличии концентраций этих элементов в пределах области питания опробуемого водотока или источника подземных вод. Восходящие подземные воды могут нести информации о полезных ископаемых, залегающих на глубинах до несколько сотен метров от поверхности.

Охарактеризованные выше основные качественные особенности геохимической информации, получаемой при анализе проб различных природных сред, определяют место каждого из видов геохимического опробования в процессе поисков полезных ископаемых в зависимости от геологической и физико-географической обстановки, с одной стороны, и от подлежащих решению поисковых задач с другой.

На первом этапе поисков для выяснения общих перспектив на полезные ископаемые всей изучаемой площади и выявления в ее пределах перспективных участков наиболее ценную информацию и с наименьшими затратами можно получить в результате геохимического опробования природных поверхностей и подземных вод или глинистых и илистых осадков в руслах естественных водотоков. С этой целью проводится гидрогеохимическая съемка масштаба 1:50000 либо литохимическая съемка по потокам рассеяния, иногда называемая методом донных осадков. Гидрогеохимическая съемка более целесообразна в горных районах, где в руслах потоков обычно практически отсутствует глинистые и илистые осадка а литохимическая съемка по потокам рассеяния в районах с нерезко расчлененным рельефом особенно в условиях аридного климата, где большинство потоков периодически пересыхает. В тех случаях, когда возможно применения как гидрогеохимической, так и литохимической съемки по потокам расселения, целесообразно применять последнюю в связи с тем, что геохимические аномалии в осадках относительно устойчивые.

Геохимическая аномалия в водах или осадках речной сети в общем случае несет суммарную информацию о концентрации элементов, расположенных в сфере воздействия агентов выветривания в пределах площади водосбора, Часть площади водосбора, где наиболее вероятно находятся источники обнаружения геохимической аномалии, может быть приближенно оконтурена на топографической карте или на аэроснимке с учетом пространственного положения аномальных и не аномальных проб.

С районах со слаборазвитой речной сетью задачи первого этапа поисков решаются с помощью литохимической съемки масштаба 1:50000 в сочетании опробованием поверхностных и подземных вод или донных осадков.

Вопрос о том, опробовать ли в процессе таких литохимических съемок рыхлые образования или коренные породы недавно стал предметом дискуссии: одни считают более эффективным опробование пород (поиски по вторичным ореолам), другие – опробование рыхлых образований(поиски по вторичным ореолам). Не приводя здесь всех аргументов в пользу той или другой точек зрения, отметим, что основное достоинство геохимических методов заключается в возможности обнаружения орудинения там, где оно не обнаружено прямыми геологическими наблюдениями, в том числе на площадях, где орудинение и вмещающие его пород не обнажены. Ранее было показано, что для решения поисковых задач геохимической съемки масштаба 1:50000 по характеру получаемой информации опробование вод и рыхлых отложений имеет преимущество перед опробование коренных пород к тому же более трудоемким. Следовательно, массовое опробование коренных пород может иметь смысл на обнаженных площадях с

целью поисков орудинения, нераспознаваемого при геологическом наблюдении (некоторые типы орудинения осадочного генезиса) или как на обнаженных, так и на закрытых площадях с целью обнаружения слабо выраженных внешних зон первичных геохимических ореолов не вскрытых эрозией рудных тел.

В равнинных районах с покровом аллювиальных, эоловых и других дальнеприносных отложений мощностью до 10-20 м достаточно эффективной может быть биохимическая съемка. При более мощном покрове рыхлых отложений геохимические методы применяются в качестве вспомогательных при любых видах геологосъемочных и поисковых работ и сводятся к литохимическому и гидрогеологическому опробованию картировочных и поисковых скважин. В аналогичных условиях могут проводиться глубинные геохимические поиски, когда пробы отбираются из определенного горизонта (обычно из коры выветривания коренных пород) в буровых скважинах, пробуренных специально для этой цели по определенной сети; однако глубинные геохимические съемки как отдельный вид поисковых работ не получают широкого распространения из-за большой трудоемкости и высокой стоимости.

Во втором этапе поисковых работ, имеющих целью выявление и предварительную оценку тел полезных ископаемых, задачей геохимических методов является обнаружение и оконтуривание локальных геохимических аномалий. Эта задача решается путем проведения детальных геохимических съемок в пределах перспективных участков с опробованием элювиально-делювиальных образований и коренных пород на участках с покровом дальнеприносных рыхлых отложений растений с глубокой проникающей корневой системой.

6. Проектирование и организация геохимических работ

Геохимические работы можно проектировать как в комплексе с другими видами работ, так и самостоятельно, но в строгом соответствии с утвержденными Министерством геологии РСФСР директивными указаниями о проведении геологоразведочных работ по стадиям. Геохимические поиски осуществляются отрядом в составе начальника отряда (старшего геолога), геолога, старшего техника-геолога, техника-геолога и рабочих.

Основным документом на производство геохимических работ является проект, который составляют в соответствии с геологическим заданием и требованиями настоящей инструкции, а также других документов, регламентирующих производство геологоразведочных работ в отрасли.

Географо-экономическую, геологическую и гидрогеологическую характеристики района работ, ландшафтно-геохимические и металлогенические его особенности, а также степень геохимической изученности района работ приводят в общей части проекта в объемах, достаточных для направления и организации геохимических работ. В специальной части проекта должны быть освещены следующие вопросы:

- 1) цель и задачи проектируемых геохимических работ;
- 2) выбор геохимических методов поисков, условия комплексирования различных геохимических методов поисков между собой и с другими видами геологоразведочных работ;
- 3) обоснование масштаба поисков (плотности сети), методики отбора и обработки геохимических проб;
- 4) обоснование методик аналитических работ с указанием чувствительности и точности определения содержаний каждого химического элемента;
- 5) геологическое и технико-экономическое обоснование объемов полевых, аналитических и камеральных работ, особое внимание должно быть обращено на выбор наиболее информативных геохимических параметров и методику их расчета, возможность применения ЭВМ и других способов ускорения и автоматизации обработки геохимических материалов;
- 6) организация полевых, аналитических и камеральных работ, включая обоснование выделения предполагаемых производственных подразделений, районов и участков работ, мест расположения лаборатории, способов и объемов транспортировки людей и грузов, календарного плана работ и мероприятий по технике безопасности;
- 7) потребность в аппаратуре и оборудовании, специальных реактивах и материалах;
- 8) содержание отчетных материалов с указанием сроков их исполнения.

Производственно-техническая часть проекта должна содержать достаточные для расчета смет данные и служить основным руководством для исполнителей при производстве работ.

Методика проектируемых геохимических работ должна соответствовать настоящей инструкции и учитывать цели и условия работ, а также опыт предыдущих исследований по результатам изучения литературных и фондовых материалов по данному району или смежным с ним с аналогичным геологическим строением, металлогенией и ландшафтно-геохимическими условиями.

Проведению всех видов площадных геохимических работ в обязательном порядке должно предшествовать районирование по условиям производства геохимических работ на основе учета геолого-геохимических, металлогенических и ландшафтно-геохимических особенностей площади проектируемых работ, а также ее геохимической изученности.

При необходимости проектом работ предусматривается производство опытно-методических исследований в объемах, достаточных для уточнения методики площадных геохимических работ. Целью опытно-методических работ должно быть выявление геохимически и экономически наиболее эффективных видов геохимических работ или их комплексов для данного района и отдельных его участков, различающихся геологическими и ландшафтно-геохимическими особенностями, а также получение опытных данных о целесообразных направлениях поисковых профилей, оптимальной глубине и способе отбора геохимических проб. При проектировании должны учитываться требования к содержанию опытно-методических работ, предусмотренные специальными разделами настоящей инструкции по каждому виду геохимических работ.

Не допускается проектирование геохимических поисков в масштабах более мелких, чем масштабы проводимых с ними одновременно или ранее проведенных геологических съемок и поисков на той же площади.

В сложных условиях масштаб геохимических работ может проектироваться крупнее масштаба проводимых одновременно геологосъемочных или поисковых работ, но в пределах масштабов, допускаемых для данной подстадии (стадии) утвержденными Министерством геологии РСФСР методическими указаниями, и с расчетом обеспечения завершения геохимических работ до окончания других работ соответствующей подстадии (стадии) геологоразведочного процесса.

Проектирование и проведение площадных геохимических работ, опережающих на одну и более подстадию геологическую съемку соответствующего масштаба, не допускается.

На подстадии региональных геофизических работ масштаба 1 : 200 000 целесообразно проектировать геохимические работы для выявления региональных геологических структур и получение их общей геохимической характеристики с целью повышения достоверности геологической интерпретации геофизических материалов. Для этого может применяться различное геохимическое опробование, но в большинстве случаев наиболее эффективным оказывается проведение литохимических поисков по потокам и вторичным ореолам рассеяния, а иногда также атмо- и гидрохимических поисков.

В случаях, если данная подстадия геологоразведочного процесса проектируется на несколько сезонов, геохимические работы следует проектировать в максимальном объеме на первый сезон при условии обеспечения тесной их увязки с геологическими наблюдениями. Геохимические поиски по потокам рассеяния целесообразно при этом сочетать со шлиховым опробованием, с гидрохимическими-с гидрогеологическими съемками соответствующего масштаба.

Для предварительной проверки и оценки выявленных перспективных геохимических аномалий проектом работ должны быть предусмотрены необходимые объекты поверхностных горных выработок (канавы, мелкие шурфы и неглубокие буревые скважины). Проходка тяжелых горных выработок буровых скважин для проверки геохимических аномалий, как правило, может проектироваться только начиная с подстадии поисково-оценочных работ. Отступление от этого правила в особых случаях допускается только с разрешения компетентных организаций Министерства геологии РСФСР.

В зависимости от ожидаемого типа оруденения для проверки выявленных аномалий проектом предусматривается определенная последовательность работ с учетом конкретных геологических и ландшафтно-геохимических условий района.

Для выделения наиболее перспективных геохимических аномалий рекомендуется следующий порядок работ:

- 1) геологическое и ландшафтно-геохимическое изучение участка выявленной аномалии;
- 2) расчет параметров выявленных геохимических аномалий для установления их интенсивности, размеров и строения;
- 3) интерпретация полученных результатов для оценки возможных прогнозных ресурсов оруденения, обусловившего данную геохимическую аномалию;
- 4) вскрытие предполагаемого оруденения или его первичных ореолов поверхностными горными выработками.

Геохимические работы должны проектироваться таким образом, чтобы весь цикл работ, включая проверку геохимических аномалий поверхностными горными выработками, был завершен в минимально короткий срок в ту же подстадию геологоразведочного процесса, чтобы к моменту составления проектов на следующую подстадию была обеспечена основа для выбора перспективных площадей для постановки на них более детальных работ. Проведение геохимических работ детальности последующей подстадии для оценки выявленных геохимических аномалий допустимо только после завершения предварительной оценки таких аномалий на всей территории работ и может предусматриваться проектом лишь при обеспечении этого условия.

Проектируемое топографо-геодезическое обеспечение геохимических работ должно предусматривать сохранение на местности точек привязки профилей геохимического опробования на длительный срок.

При комплексировании геохимических и геофизических работ целесообразно их проведение по одной и той же сети наблюдений, имея в виду последующее сопоставление получаемых результатов, а также использование однажды разбиваемой топографической сети для нескольких видов работ.

Последовательность проведения геохимических и геофизических работ при их комплексировании зависит от условий работ и геологического строения исследуемого участка. Обычно при мелкомасштабных работах в первую очередь проводятся аэрогеофизические в аэрогеохимические поиски, а затем региональные литохимические поиски по потокам рассеяния. При более детальных работах геофизические методы чаще используются для определения рудоконтролирующих структур скрытого оруденения, прямые признаки которого (первичные ореолы) устанавливаются геохимическими методами.

Для интерпретации выявляемых геохимических аномалий часто бывает недостаточно сведений, получаемых при геологической съемке, поэтому в проекте следует предусмотреть специальные геологические и минералого-геохимические работы, необходимые для всесторонней оценки геолого-структурного положения и вещественного состава геохимических аномалий (ореолов).

При составлении проекта работ необходимо иметь в виду целесообразность организации при значительных объемах геохимических работ самостоятельных геохимических отрядов и партий. Организация полевой спектральной лаборатории целесообразна при годовом объеме работ свыше 25 000 проб, работе в удаленных и труднодоступных районах, а также при проведении глубинных геохимических поисков в сочетании с буровыми работами, когда требуется особенно оперативное получение

результатов. При некоторых особых условиях (изучение наложенных и гидрохимических ореолов, необходимость обогащения проб и т. п.) полевые аналитические лаборатории необходимы при любых объемах работ.

Анализы геохимических проб и предварительную обработку результатов необходимо проводить в процессе производства поисков с целью обеспечения оперативной корректировки направления и объемов как геохимических, так и других видов геологоразведочных работ, а также скорейшей оценки рудоносности площади поисков.

7. Требования к содержанию геохимических работ по стадиям геологоразведочного процесса

Требования к содержанию геохимических работ определяются их местом в рациональном комплексе геологоразведочных работ. Для каждой стадии геологоразведочного процесса на основе учета результатов прогнозно-металлогенических исследований, конкретного типа известных или предполагаемых рудных объектов, геологического строения и ландшафтно-геохимических условий выбирается оптимальный комплекс геохимических и других методов геологоразведочных работ, обеспечивающих выполнение задач определенной стадии геологоразведочного процесса. На всех стадиях разведки степень использования геохимических методов определяется в основном их информативностью для конкретного объекта разведки. При этом следует иметь в виду, что, как правило, экономически оправдано применение геохимических методов во всех случаях, когда благодаря этому может быть достигнуто сокращение объема дорогостоящих горных выработок и буровых скважин.

Определение содержания геохимических работ для каждой стадии и подстадии геологоразведочного процесса производится в соответствии с требованиями и рекомендациями инструкции.

На стадии «Региональные геологосъемочные и геофизические работы» должна быть получена общая геохимическая характеристика территории. На этой же стадии выполняется районирование территории по условиям проведения геохимических поисков с учетом ландшафтно-геохимических и геолого-геоморфологических критериев, уточняются методические приемы и определяются наиболее эффективные для данной территории методы геохимических поисков. Главной целью геохимических работ на этой стадии является выделение перспективных площадей с обязательной количественной оценкой прогнозных ресурсов (категории P_2 и P_3) для постановки поисковых работ последующих стадий геологоразведочного процесса.

На подстадии «Региональные геофизические работы масштаба 1 : 200 000» рекомендуется для успешного решения задачи геологической интерпретации геофизических данных производить литохимическое опробование горных пород на участках геофизических аномалий. Возможное в этом случае установление геохимических поисковых признаков месторождений полезных ископаемых может иметь важное значение для направления всех последующих работ.

На подстадии «Региональная геологическая съемка масштаба 1 : 200 000 с составлением региональных площадных карт», а также при геологическом доизучении ранее закартированных в масштабе 1 : 200 000 площадей применение геохимических методов, как это и предусматривается утвержденными Министерством геологии СССР Методическими указаниями, должно иметь основными целями расшифровку геологического строения территории и осуществление сопутствующих съемке поисковых работ. Для решения этих задач производится районирование территорий геологической съемки по условиям геохимических поисков на ландшафтной основе и литохимические поиски в масштабе 1 : 200 000, предпочтительно по потокам рассеяния путем опробования аллювиальных отложений современной гидросети. При необходимости в закрытых районах могут проводиться биогеохимические, атмосферические и гидрохимические поиски того же масштаба.

Площадные литохимические поиски масштаба 1 : 200 000 по вторичным ореолам рассеяния проводятся только на тех площадях, где поиски по потокам рассеяния не эффективны. Общая задача данной подстадии - выделение площадей для постановки дальнейших более детальных геологосъемочных, а в отдельных случаях и непосредственно поисковых работ - в полной мере относится и к геохимическим работам. В результате геохимических исследований на этой подстадии должны быть получены все необходимые данные для проектирования и проведения более детальных геохимических работ.

В районах с особо сложным геологическим строением методическими указаниями, утвержденными Министерством геологии СССР, допускается проведение на этой подстадии геологической съемки масштаба 1 : 100 000. Очевидно, что это относится и к геохимическим работам, масштабы которых должны соответствовать масштабам геологической съемки.

На основе анализа параметров, выявленных на данной подстадии геохимических аномалий с учетом результатов других видов геологоразведочных работ, обязательной является количественная оценка прогнозных ресурсов категории P_3 , как ресурсов потенциально перспективных площадей районов и рудных полей, в пределах которых на основании благоприятных стратиграфических, литологических, тектонических предпосылок, выявленных при производстве в оцениваемом районе геологической съемки масштабов 1 : 200 000 и 1 : 100 000, прогнозно-металлогенических, региональных и геофизических исследований возможно выявление новых месторождений. Подсчет прогнозных ресурсов категории P_3 производится согласно указаниям.

Геохимические поиски на подстадии «Геологическая съемка масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с составлением крупномасштабных карт» базируются на результатах геохимических работ предыдущей стадии. В случае, если такие работы не были выполнены своевременно или же были выполнены на неудовлетворительном методическом уровне, необходимые для проведения геохимических поисков масштаба 1 : 50 000 данные должны быть получены в начальный период работ.

В результате работ данной подстадии утвержденные Министерством геологии РСФСР методические указания требуют установления поисковых критериев и выделения перспективных площадей для постановки поисковых работ. Основными геохимическими методами решения этих задач должно быть выявление вторичных литохимических ореолов и потоков рассеяния. Реже на данной подстадии, как правило, на ограниченных площадях проводятся литохимические поиски по первичным ореолам (геолого-геохимическое профилирование), а также атмохимические, биогеохимические и гидрохимические поиски для выявления скрытых на глубине рудных месторождений. В определенных геологических в ландшафтно-геохимических условиях целесообразны иногда комплексные работы одновременно несколькими геохимическими методами.

Рекомендуются следующие варианты проведения геохимических поисков на данной подстадии.

1. В горных активно денудированных районах, а также в слабо расчлененных открытых складчатых районах аридной, зоны с покровом элювио-делювиальных образований (Казахстан, Южный Урал, горные районы Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока и Северо-Востока) геохимические поиски проводят литохимическими методами, путем выявления вторичных остаточных ореолов, а также потоков рассеяния месторождений.

2. В слабо расчлененных складчатых районах гумидной зоны с повышенной мощностью элювио-делювиальных образований литохимические поиски в масштабе 1 : 50 000 следует сочетать с гидрохимическими поисками (Средний Урал, Западная Сибирь и т. п.).

3. В закрытых районах с покровом рыхлых аллохтонных отложений мощностью до 100 м (в отдельных случаях и до 200 м) для выявления скрытых рудных месторождений целесообразно сочетание литохимических, гидрохимических и атмохимических поисков путем выявления вторичных наложенных литохимических (солевых), газовых и биогеохимических ореолов рассеяния (Северный Казахстан, Гургайский прогиб, Южный Урал, Украинский кристаллический массив, Воронежская антеклиза, Кольский п-ов, Южная Карелия). До начала геохимических поисков масштаба 1 : 50 000 в таких районах

обязательно проведение специальных геологических и геофизических исследований для районирования территории по мощности рыхлого чехла, перекрывающего рудоносный субстрат. В закрытых районах аридной зоны с покровом дальнепринесных отложений, не превышающим возможную глубину проникновения корневой системы растений, иногда целесообразно на данной подстадии проведение биогеохимических поисков в масштабе 1 : 50 000. Выявленные на поверхности чехла наиболее перспективные литохимические, гидрохимические, атмосферические и биогеохимические аномалии целесообразно детализировать теми же методами, а также путем проведения глубинных литохимических поисков уже на данной подстадии работ.

В случае проведения при сложном геологическом строении геологосъемочных работ в масштабе 1 : 25 000 в том же масштабе проводятся и геохимические поиски.

На данной подстадии геологоразведочных работ особое внимание должно быть уделено получению представительного опытно-методического материала по корреляции вторичных ореолов рассеяния и первичных ореолов рудных месторождений, которые необходимы для обоснованного проектирования геохимических работ на последующих стадиях и подстадиях.

При положительных результатах геохимических работ данной подстадии, когда установлено, что выявленные геохимические аномалии связаны с промышленным оруденением, является обязательным подсчет прогнозных ресурсов категории P_2 новых месторождений, наличие которых основывается помимо геохимических данных на положительной оценке выявленных проявлений полезного ископаемого геологическими и геофизическими методами. При этом для оценки масштабов предполагаемых месторождений, суждений о форме и размерах тел полезного ископаемого, его качества используется аналогия с известными месторождениями того же промышленного типа, со сходными геохимическими параметрами. Подсчет прогнозных ресурсов категории P_2 производится согласно указаниям и по формулам. Прогнозные ресурсы категории P_2 являются основой для проектирования детальных поисков, а также поисково-оценочных работ.

Подстадия «Глубинное геологическое картирование с прогнозированием полезных ископаемых» сопровождается геохимическим опробованием керна буровых скважин в целях выявления вторичных погребенных ореолов рассеяния и первичных ореолов рудных месторождений.

При поисках месторождений в кристаллическом фундаменте, если в основании чехла осадочных горных пород залегает водоносный горизонт, гидравлически связанный с трещинными водами фундамента, а также при поисках экзогенных месторождений в

породах чехла следует проводить глубинные гидрохимические поиски путем опробования глубоких подземных и межпластовых вод в буровых скважинах (некоторые районы Рудного Алтая, Северного Казахстана, Средней Азии, Украины). Проведение этих работ обязательно сочетают с литохимическим опробованием керна скважин.

При отсутствии древних кор выветривания и водоносного горизонта в основании чехла геохимические поиски проводят по первичным ореолам путем литохимического опробования керна поисковых скважин, углубленных в породы складчатого основания, и сочетают его с гидрохимическим опробованием трещинных вод.

Геохимические поиски на этой подстадии должны проводиться в едином комплексе с геофизическими работами и картировочным бурением. Первостепенное значение на этой подстадии имеет всестороннее изучение первичных ореолов. Сеть буровых скважин на этой подстадии работ обычно относительно редкая и вероятность прямого подсечения скважиной оруденения или интенсивной части его первичного ореола невелика, поэтому особенное значение приобретают различные методы усиления ореолов, применение которых на этой подстадии геологосъемочных работ является обязательным. Хорошие результаты дают методы мультипликации ореолов и анализ различных фракций геохимических проб (в основном тяжелых). В результате геохимических работ на этой подстадии должны быть получены данные, достаточные для проектирования специальных глубинных литохимических поисков или обоснованного прекращения работ.

При положительных результатах геохимических работ подсчет прогнозных ресурсов категории $P_2 - P_3$ на данной подстадии является обязательным.

Бучко Инна Владимировна

Профессор кафедры ГиП АмГУ, доктор геол.мин.наук

«Геохимические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». Методическое указание к выполнению самостоятельной работы.

Изд-во АмГУ. Подписано к печати _____. Формат 60x84/16. Усл. печ. л.5.0__

Тираж 100. Заказ_____.

Отпечатано в типографии АмГУ