

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
И ПОИСКОВ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

МОСКВА, 1973

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

550.4+553.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1019

МОСКВА 1973



*Главный редактор
член-корреспондент АН СССР
Л. Н. ОВЧИННИКОВ*

*РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Э. Н. БАРАНОВ, С. В. ГРИГОРЯН, И. Н. РЕЗНИКОВ,
Ю. Е. САЕТ, Е. М. ЯНИШЕВСКИЙ (ответственный редактор)*

ПРЕДИСЛОВИЕ

В директивах 24 съезда КПСС по развитию народного хозяйства в девятой пятилетке указывается на необходимость проведения исследований в области геологии, геофизики и геохимии для выявления закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых, повышения эффективности методов их поисков, добычи и обогащения. Кроме этого, в директивах выдвигается также требование расширения работ по геологическому изучению земных недр и производства разведки минерально-сырьевых ресурсов прежде всего в районах действующих горных предприятий.

Выполнение этого задания может осуществляться как за счет увеличения запасов действующих горнорудных предприятий, так и путем выявления и вовлечения в эксплуатацию новых месторождений полезных ископаемых, в первую очередь — располагающихся в экономически освоенных районах.

Решение этих важных задач, особенно последней, включает особые трудности, обусловленные значительным сокращением за последнее время фонда легкооткрываемых месторождений, в ряде районов уже полностью исчерпанного. В этих условиях основным резервом увеличения минерально-сырьевых ресурсов являются скрытые и глубоко перекрытые месторождения.

Очевидно, что успешное решение сложной проблемы повышения глубинности прогнозирования и поисков возможно лишь на принципиально новой методической основе.

Современное состояние разработанности геохимических методов и особенно метода поисков рудных месторождений по их первичным геохимическим ореолам таково, что эти методы на новом и сложном этапе геологоразведочных работ успешно могут содействовать повышению их геологической и экономической эффективности. Именно поэтому в директивах

нашей партии и правительства поставлена задача их дальнейшего развития.

Центральная геохимическая экспедиция ИМГРЭ к началу девятой пятилетки подготовила методические основы, позволяющие приступить к широкому внедрению геохимических методов в практику геологоразведочных работ, особенно при прогнозировании и поисках скрытых рудных месторождений. При разработке этих методических основ были изучены первичные геохимические ореолы более ста рудных тел различных рудных формаций. В результате работ установлены типоморфные комплексы элементов-индикаторов рудоносности, образующие первичные геохимические ореолы около рудных тел, изучены также закономерности распределения отдельных элементов-индикаторов в вертикальном и горизонтальном сечениях ореолов, различные параметры таких ореолов и их зависимость от геологических и геохимических условий формирования. Методические работы позволили определить геохимические критерии и различные количественные показатели, которые необходимы для оценки геохимических аномалий, выявляемых при прогнозных и поисковых работах. Они с успехом могут использоваться и для оценки глубоких горизонтов рудопроявлений, а также разведываемых или эксплуатируемых рудных месторождений разных формаций. Эти критерии и показатели позволяют по характерному комплексу элементов-индикаторов рудоносности и их характерным количественным соотношениям в аномалиях устанавливать природу последних и формационную принадлежность ожидаемого скрытого рудного тела, обусловившего их образование. Детальное изучение зональности распределения элементов-индикаторов в ореолах и установление количественных показателей ее для различных уровней вертикального разреза позволяют определить положение различных сечений ореолов, выявленных на поверхности или в разведочных выработках, по отношению к верхнему уровню рудного тела, а также положение других его уровней, установление перспектив рудоносности которых необходимо при предварительной и детальной разведке глубоких горизонтов рудного тела.

Указанные критерии определили также основу тех критериев, которые должны использоваться для оценки геохимических аномалий, выявленных при поисковых работах в почвах, рыхлых отложениях, подземных и поверхностных водах, а также в растениях.

Большое значение для повышения эффективности поиско-

вых работ и расширения области применения геохимических методов имеют проведенные в последние годы опытно-методические работы, направленные на изучение возможностей использования этих методов при прогнозировании и поисках месторождений полезных ископаемых осадочного происхождения. На основе изучения закономерностей распределения микроэлементов в осадочных породах выявлены геохимические критерии, которые с успехом могут использоваться при поисках месторождений фосфоритов, марганцевых руд и бора.

Не менее важное значение для расширения сферы применения геохимических методов имеют также проводимые экспедицией работы по изучению закономерностей распределения микроэлементов в различных типах горных пород. Разработанные в результате этих исследований методические приемы и принципы, а также примеры их использования для решения различных геологических задач показывают, что эти закономерности могут с успехом применяться при геологическом изучении картируемых районов. Выявленные геохимические закономерности и критерии позволяют повысить достоверность корреляции осадочных и вулканогенно-осадочных толщ и отдельных горизонтов, распознавание которых обычными визуальными методами затруднено. Они могут также с успехом использоваться для установления сходства и различия петрографически однотипных изверженных пород и сопоставления их обнажений на дневной поверхности и выходов в горных выработках и буровых скважинах.

Интересны полученные примеры успешного использования выявленных закономерностей для установления природы субстрата глубокометаморфизованных пород, а также для решения некоторых других вопросов, изучение которых обычными визуальными методами затруднено. Дальнейшее совершенствование этого нового метода прикладной геохимии позволит еще больше содействовать повышению эффективности геологических исследований самого различного направления.

Результаты проведенных экспедицией опытных работ позволили приступить к широкому внедрению геохимических методов в практику работы производственных геологических организаций. В первую очередь это относится к поискам скрытого оруденения различных формаций по первичным геохимическим ореолам.

Публикуемые в настоящем сборнике статьи освещают геохимические критерии прогнозирования и поисков рудных

месторождений, разработанные сотрудниками Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ.

Учитывая значительное количество примеров по применению геохимических методов в самых различных отраслях геологоразведочных работ Центральной геохимической экспедицией и некоторыми другими организациями, в сборник включена статья, где рассматриваются место и роль геохимических методов и их комплекса при проведении геологоразведочных работ на всех этапах и стадиях их осуществления.

Материалы сборника рассчитаны на широкий круг геологов и геохимиков; их задача—помочь самому широкому внедрению геохимических методов в практику геологоразведочных работ. Это должно содействовать существенному повышению геологической и экономической эффективности работ, общему развитию научно-технического прогресса в этой важной отрасли промышленности.

О МЕСТЕ И РОЛИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ОТДЕЛЬНЫХ ЭТАПАХ И СТАДИЯХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

В СССР геохимические методы поисков рудных месторождений, применяемые уже более тридцати лет, использовались ранее главным образом в виде так называемой «металлометрии» и имели целью обнаружение рудных тел, выходящих на эрозионную поверхность и закрытых плащом рыхлых отложений. Металлометрическое опробование проведено на весьма значительной площади, с его помощью открыто большое количество месторождений и рудопроявлений цветных и редких металлов.

В значительно меньшем объеме применялся метод, основанный на выявлении потоков рассеяния рудообразующих элементов в рыхлых отложениях, а также гидрогеохимический и биогеохимический методы.

Начиная со второй половины шестидесятых годов, получили развитие методические работы по изучению первичных (эндогенных) геохимических ореолов, образующихся около рудных тел различного состава и генезиса. Эти работы очень скоро показали, что особенности состава и строения ореолов, а также закономерности распределения в них химических элементов являются важными критериями для прогнозирования и обнаружения скрытых рудных тел. Подобные критерии весьма эффективны и для оценки перспектив рудоносности нижних горизонтов и флангов разведываемых рудопроявлений и месторождений, и для решения ряда других вопросов, возникающих при поисках и разведке рудных месторождений. Кроме того, при изучении первичных геохимических ореолов было установлено, что выявленные закономерности распределения в них химических элементов позволяют значительно усовершенствовать методы поисков по экзогенным ореолам

рассеяния и определить критерии оценки геохимических аномалий, выявляемых в почвах и рыхлых отложениях, в донных осадках, в поверхностных и подземных водах, а также в растениях.

Изучение рядом авторов распределения микроэлементов в горных породах различного состава и генезиса привело к выявлению геохимических закономерностей, которые могут быть использованы для решения ряда вопросов, возникающих при геологическом изучении площадей на основе геологического картирования. Примерный перечень таких вопросов неоднократно приводился в литературе (Янишевский, 1968; Резников, Янишевский, 1971 и др.). В статье Э. К. Буренкова с соавторами, публикуемой в настоящем сборнике, показывается, что закономерности распределения микроэлементов в осадочных породах могут служить геохимическим критериями, имеющими важное значение при прогнозировании и поисках месторождений осадочного генезиса. В литературе опубликовано большое количество данных, показывающих, что изучение распределения микроэлементов в изверженных и метаморфических породах позволяет освещать различные вопросы, возникающие при геологическом картировании, решение которых затруднено с помощью обычных визуальных методов (Таусон и др., 1970, Гундобин и др., 1971; Резников, Янишевский, 1971 и некоторые другие). Результаты описанных исследований, новая направленность их, определенная специфика методов сбора и обработки геохимической информации позволяют считать, что комплекс стандартных геохимических методов, применяемых при геологоразведочных работах, пополнился теперь новым методом. По нашему мнению, ему целесообразно присвоить название «микроэлементный геохимический метод».

Все вышесказанное говорит о широких возможностях использования различных геохимических методов для решения самых разнообразных задач и настоятельно требует применения их в общем комплексе методов, используемых на всех этапах и стадиях геологоразведочных работ.

Практика показывает, что высокая результативность геологоразведочных работ в значительной степени зависит от правильности определения рационального комплекса методов исследования. Для выполнения этого условия необходимо прежде всего четко представлять задачи, которые должны решаться при выполнении работ, а также возможности каждого метода в отдельности содействовать их выполнению.

Систематическое расширение и углубление геологического изучения территории СССР привело во многих районах к сокращению фонда легкооткрываемых месторождений; в некоторых районах он даже полностью исчерпан. В связи с этим перед геологоразведочными работами возникли новые задачи повышения глубинности геологических исследований, а также поисков скрытых рудных месторождений. Это положение приводит к соответствующему изменению состава ранее применявшегося комплекса методов исследования. Этот комплекс может изменяться также в связи с совершенствованием применяемых методов и разработкой новых. Последнее целиком относится к геохимическим методам, которые приобрели за последнее время совершенно другое значение, в особенности, получив применение для решения вышеупомянутых новых задач. В свете этого целесообразно рассмотреть отдельно роль и место каждого геохимического метода в решении новых задач на всех этапах и стадиях геологоразведочных работ.

В настоящее время производство последних осуществляется в три этапа; каждый из них делится на стадии.

Первый этап — геологосъемочные работы. В соответствии с их деятельностью выделяются две стадии: первая-геологосъемочные работы масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000) и вторая — масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000).

Второй этап—поисковые работы, направленные на выявление новых месторождений. Некоторыми авторами здесь выделяются две стадии. Однако четкого обоснования такого деления не имеется.

На третьем этапе выполняются разведочные работы на стадиях предварительной и детальной разведки.

Самостоятельный характер имеют геологоразведочные работы при эксплуатации месторождений.

I. На этапе геологосъемочных работ главной задачей является оценка перспектив рудоносности картируемой территории на основе ее геологического изучения и выделение участков для более детальных геологосъемочных или поисковых работ. Оценка должна даваться не только с учетом известных и вновь выявленных в этом районе рудных месторождений и рудопроявлений, выходящих на аэрозионную поверхность, но и на основе выявленных в процессе геологической съемки геохимических аномалий, являющихся прямыми признаками рудных тел.

Этой задаче полностью подчинены работы на стадиях среднemasштабной и крупномасштабной геологической съемки. На

первой стадии этого этапа, несмотря на то, что работы проводятся в относительно слабоизученных районах, где не исчерпаны возможности обнаружения легкооткрываемых рудных месторождений, при прогнозной оценке района работ на перспективы рудоносности необходимо использовать геохимические признаки возможного наличия перекрытого и скрытого оруденения. Это обеспечит полноту и более высокую достоверность прогноза, а следовательно, высокую эффективность последующих работ.

На обеих стадиях этого этапа в комплекс используемых методов включаются обычно различные геологические (стратиграфические, геолого-структурные, минералого-петрографические, литологические и т. п.), а также геофизические методы, которые способствуют увеличению глубинности изучения геологического строения картируемой территории. С успехом применяются при этом методы аэрофотосъемки.

Современное состояние разработанности геохимических методов и имеющаяся практика их использования позволяют считать, что на этом первом этапе геологоразведочных работ указанные методы могут сыграть важную, а иногда и решающую роль. Можно с уверенностью утверждать, что если они не будут включены в общий комплекс методов, то не будет достигнуто и достаточно высокое качество геологических исследований, в особенности в части оценки перспектив рудоносности картируемой территории.

С помощью микроэлементного геохимического метода имеется возможность определять сходство и различия изверженных, метаморфических и осадочных пород и на основе этого производить сопоставление их отдельных выходов, отнесение пород к тем или иным комплексам, свитам и горизонтам с большей степенью достоверности. Оценки параметров распределения микроэлементов в метаморфических породах позволяют устанавливать природу их субстрата.

Мы уже упоминали о статье Э. К. Буренкова и его соавторов, в которой приведены примеры решения с помощью микроэлементного геохимического метода фациально-литологических вопросов, имеющих важное значение для прогнозирования месторождений осадочного происхождения.

Приведенными примерами далеко не исчерпывается перечень геологических вопросов, которые могут успешно решаться при геологическом картировании с помощью микроэлементного геохимического метода. Следует подчеркнуть, что роль

этого метода особенно возрастает при изучении геологического строения закрытых или сложнопостроенных районов, где возможность визуальных наблюдений резко ограничена.

Весьма важную роль геохимические методы играют при оценке перспектив рудоносности картируемой территории. Выводы о металлогении района, которые делаются при его геологическом изучении, обычно опираются главным образом на наличие ранее известных или обнаруженных в процессе геологической съемки рудных месторождений и рудопроявлений. Геохимическое опробование различных потенциально рудоносных образований, проявляющихся в коренном их залегании в виде зон гидротермально измененных пород, зон скарнирования, грейзенизации, тектонических нарушений и т. п., позволяет путем выявления аномальных концентраций элементов-индикаторов рудоносности устанавливать геохимические признаки скрытых рудных тел.

Не исключается также возможность прямого обнаружения оруденения, представленного визуально трудноопределяемыми минералами. Среди них в первую очередь могут быть названы шеелит, берtrandит и некоторые другие.

На участках, закрытых рыхлыми отложениями небольшой мощности, потенциально рудоносные образования могут прослеживаться и оцениваться путем геохимического опробования почв или элювиально-делювиальных образований.

В активно денудированных районах геохимическое опробование донных осадков позволяет выявлять потоки рассеяния перекрытого или скрытого оруденения и на их основе оценивать перспективы рудоносности площади бассейнов водотоков. Применение метода, основанного на геохимическом опробовании донных осадков, целесообразно осуществлять параллельно с шлиховым опробованием аллювиальных отложений. Это позволит выявлять потоки рассеяния рудных тел, в состав которых входят трудноразрушаемые при выветривании минералы. Так как подобным методом такие потоки выявляются в процессе полевых работ, информация об их наличии позволяет, кроме оценки общих перспектив рудоносности участков, установить и направление вероятного сноса рудных минералов. При положительной оценке таких участков в процессе полевых работ на них следует ставить более детальное геохимическое изучение потенциально рудоносных образований. Это позволит получить по таким участкам более полную геохимическую информацию и обеспечить более достоверную оценку перспектив их рудоносности.

Существенную роль в оценке перспектив рудоносности картируемых районов играет гидрогеохимический метод. Опробование открытых водотоков, а также источников подземных вод дает возможность получить дополнительную информацию о возможном наличии на площадях их стока перекрытых или скрытых рудных тел. Правильно интерпретированные гидрогеохимические аномалии позволяют установить наиболее вероятный тип оруденения, а также отдельные участки, где наиболее достоверна возможность обнаружить рудные тела.

Все геохимические признаки рудоносности, выявленные при геохимических исследованиях комплексом перечисленных выше методов, оформляются в виде карты геохимических аномалий с отражением геологических закономерностей их размещения. Основной нагрузкой такой карты являются геохимические аномалии, интерпретация которых установила их обусловленность процессами рудообразования. Такие аномалии целесообразно классифицировать по характерным комплексам рудообразующих элементов в ореолах, соответствующим тому или иному типу оруденения.

На основе анализа геохимических закономерностей размещения выявленных различными методами геохимических аномалий, можно с большой достоверностью выделять участки, перспективные для обнаружения рудных месторождений в различных условиях залегания.

Один из примеров составления таких карт описан в статье И. Н. Резникова и Е. М. Янишевского (1971). Карта геохимических аномалий является весьма ценным дополнительным материалом для составления общей сводной карты прогнозов, учитывающей все признаки рудоносности, выявленные в процессе геологической съемки.

Применение геохимических методов на первом этапе весьма эффективно также для оценки рудоносности известных ранее или вновь выявленных на картируемой территории рудопроявлений. Наиболее достоверные результаты могут быть получены при изучении первичных геохимических ореолов, образующихся около этих рудопроявлений. Использование разработанных геохимических критериев оценки различных уровней среза первичных ореолов в применении к конкретным геологическим условиям залегания рудных тел позволяет дать достаточно достоверную оценку перспектив рудоносности глубоких горизонтов этих рудопроявлений.

Не менее эффективно также применение геохимических методов для оценки геофизических аномалий, выявленных

на картируемой территории различными геофизическими методами и признанных вероятно рудоносными.

Все перечисленные выше геохимические методы должны применяться в процессе производства полевых работ по геологическому картированию

II. Вторым этапом геологоразведочных работ являются поисковые работы. Термину «поисковые работы» или «поиски» часто придают самое широкое значение. В связи с этим без определения задач, которые предстоит решить на этом этапе, нельзя установить оптимальный комплекс применяемых методов. Основной задачей поисковых работ следует считать обнаружение месторождений (рудопроявлений) полезных ископаемых, в том числе рудных, как выходящих на дневную поверхность, так и перекрытых рыхлыми отложениями или скрытых на глубине. Поисковые работы должны проводиться на тех перспективных участках, где предыдущими прогнозными или другими работами выявлены различные признаки рудоносности — геохимические аномалии, рудопроявления и т. п. Работы на этом этапе следует считать законченными, если вновь обнаруженные рудные тела вскрыты единичными буровыми скважинами и вдобавок проведены другие работы, на основе которых можно дать прогнозную оценку общих масштабов запасов и определить целесообразность проведения дальнейшей предварительной разведки этого рудопроявления. Такое понимание сущности поисковых работ позволяет четко определить наиболее эффективный комплекс применяемых здесь геохимических методов.

В связи с этим нетрудно определить роль этих геохимических методов для повышения эффективности работ. Прежде всего необходимо отметить, что если геохимические методы, используемые на первом этапе, лишь существенно дополнили основной комплекс геологических методов, то на поисковом этапе они уже являются ведущими. Эти методы позволяют локализовать участки, на которых можно обнаружить перекрытые или скрытые рудные тела и, используя в комплексе геологические, геофизические критерии, определить места заложения буровых скважин или горных выработок для вскрытия и частичного прослеживания ожидаемых рудных тел.

Для поисков скрытого оруденения на хорошо обнаженных участках наиболее эффективно применение метода поисков по первичным (эндогенным) геохимическим ореолам. На участках, закрытых рыхлыми отложениями, как известно, успешно

используется метод поисков по экзогенным ореолам, образующимся в почвах и элювиально-делювиальных образованиях. Этим методом могут обнаруживаться рудные тела, как выходящие на эрозионную поверхность и закрытые рыхлыми образованиями, так и скрытые на глубине, первичные (эндогенные) геохимические ореолы которых вскрыты эрозией. При поисках в районах, где ландшафтные условия неблагоприятны для формирования экзогенных ореолов в почвах и элювиально-делювиальных отложениях, может применяться биогеохимический метод.

Признаки перекрытых и скрытых рудных тел успешно выявляются гидрогеохимическим методом, особенно детально разработанным для поисков сульфидного оруденения. Используется он как вспомогательный в общем комплексе геохимических методов. Опробованию подвергаются источники подземных вод разного типа.

В районах, где вероятно обнаружение месторождений радиоактивных руд, применяются методы радиометрии и эманионный. Имеются также предложения использовать при детальных поисках различные газовые методы, в том числе и метод, основанный на определении в почвенном воздухе паров ртути, гелия и других газов, однако практическое значение этих предложений до сих пор еще не выяснено.

Детальность (масштаб) геохимических работ при поисках должна определяться прежде всего параметрами ожидаемых первичных или вторичных ореолов, зависящих в значительной степени от состава и условий залегания рудовмещающих пород и характера рудовмещающих структур. При определении степени детальности работ необходимо иметь в виду, что сеть геохимического опробования должна обеспечить выявление параметров аномалий не только главных, но и второстепенных рудообразующих элементов. Некоторые из последних могут формировать ореолы относительно небольшого размера, однако их наличие позволяет наиболее достоверно оценить и интерпретировать срезы первичных или вторичных ореолов главных рудообразующих элементов, обнаруженных по геохимическим аномалиям. Практика показывает, что этим условиям вполне отвечают работы в масштабе 1 : 10000.

Поисковые работы должны сопровождаться геологическим изучением участка и составлением геологической карты, как правило, в том же масштабе, с инструментальной привязкой точек наблюдения. Существенно способствует успеху поисковых работ применение геофизических методов.

Если на площади поисковых работ отдельные перспективные участки закрыты рыхлыми отложениями, повышенная мощность которых или другие причины не позволяют достоверно выявить экзогенные геохимические аномалии, то для вскрытия коренных пород и их геохимического опробования следует применять картировочное бурение.

Для различных целей производятся также и различного вида горные работы. Картировочное бурение и легкие горные выработки применяются для вскрытия перекрытых рудных тел и частичного прослеживания их, а также для геологического изучения коренных пород, на эрозионном срезе которых обнажаются первичные ореолы скрытых рудных тел. В процессе поисковых работ с использованием геохимических методов следует проводить методические исследования для определения геохимического фона всех разновидностей рудовмещающих пород, если такие данные не были получены ранее при геологическом картировании.

Обнаруженные и оцененные положительно геохимические аномалии должны подвергаться проверке путем вскрытия предполагаемых рудных тел на глубине единичными буровыми скважинами или, при соответствующих более благоприятных условиях, горными выработками, в объеме, позволяющем подсчитать запасы низких категорий и на основе общей прогнозной оценки выявленного рудопроявления доказать необходимость проведения предварительных разведочных работ.

Поисковые работы, несмотря на то, что они проводятся с применением в большом объеме различных геохимических методов, организационно должны выполняться силами единой геолого-поисковой партии, которая осуществляет весь цикл работ, начиная с выявления геохимических аномалий, изучения геологических условий их залегания, вплоть до вскрытия ожидаемых рудных тел. Особенно необходимо, чтобы выявление геохимических аномалий и проверка наиболее перспективных из них осуществлялись без длительного разрыва во времени, одними и теми же ведущими специалистами. Это позволит оградить поисковые работы от неоправданного растягивания сроков их проведения и обеспечить оптимальную геологическую и экономическую эффективность полученных результатов.

III. Третий этап разведочных работ включает две стадии с несколько различными задачами.

Основной задачей работ на стадии предварительной разведки является определение промышленного значения разве-

дываемого рудопроявления и тем самым — решение вопроса о целесообразности его дальнейшей детальной разведки.

В результате работ на этом этапе окончательно определяются тип оруденения, запасы руд (в основном по низшим категориям), изучается качество руд, а также решаются другие вопросы, позволяющие дать оценку общих перспектив рудоносности разведываемого рудопроявления.

Экономическая целесообразность разработки рудопроявления должна определяться не только по результатам разведки рудных тел, вскрытых при поисках, но также с учетом перспектив рудоносности всего рудного поля. Для решения этой задачи прежде всего должны быть дополнительно изучены и проверены геохимические аномалии, которые были выявлены ранее на участке в процессе поисковых работ, пространственно и геологически тяготеющие к разведываемому рудному телу. Среди этих аномалий могут обнаруживаться обусловленные геохимическими ореолами скрытых рудных тел. Дополнительно выявленные при предварительной разведке рудные тела могут существенно увеличить общие запасы месторождения, что весьма важно для более достоверного определения мощности будущего горнодобывающего предприятия. В соответствии с этим на данной стадии разведки проектируется значительный объем горных и буровых работ, направленных главным образом на прослеживание и частичное оконтуривание рудных тел, а также предназначенных для оконтуривания блоков, по которым будет производиться подсчет запасов. Эти работы сопровождаются геологическим изучением рудного тела и условий его залегания. Предварительная разведка завершается составлением ТЭДа, в котором обосновывается промышленное значение разведываемого рудопроявления и целесообразность его дальнейшей длительной разведки.

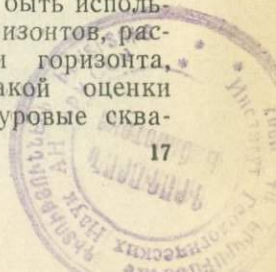
На стадии детальной разведки продолжают работы по прослеживанию и оконтуриванию рудных тел и выявляются запасы в объеме, достаточном для проектирования промышленного предприятия. В результате этих работ требуется получение более детальной характеристики параметров разведываемых рудных тел и более полное их оконтуривание. Запасы руд подсчитываются с большим удельным весом высоких категорий. Разведываются также рудные тела, выявленные дополнительно в пределах рудного поля при предварительной разведке. Детально проверяются перспективы рудоносности законтурных пространств и т. п. Проводятся также в боль-

шом объеме разные виды других работ с целью получения различной информации, необходимой для проектирования горнорудного предприятия.

В настоящее время имеется уже значительный опыт использования геохимических методов для более полного выявления рудных тел на флангах разведываемого рудопроявления или эксплуатируемого месторождения. В публикуемых в настоящем сборнике статьях указываются примеры обнаружения на глубоких горизонтах флангов месторождений новых рудных тел различного типа (О. С. Клюев, Э. Н. Баранов и др.). Для этих целей успешно применяется метод, основывающийся на выявлении первичных геохимических ореолов. Весьма эффективно использование эндогенных ореолов и для оценки перспектив рудоносности нижних горизонтов рудных тел, для оконтуривания блоков, по которым производится подсчет запасов, особенно по категории C_2 и т. п.

К сожалению, по применению этого метода на стадии детальной разведки месторождений имеется значительно меньше опыта, однако с уверенностью можно утверждать, что геохимический метод, основывающийся на изучении первичных эндогенных ореолов, может существенно повысить геологическую и экономическую эффективность работ на обеих стадиях этого этапа. Разведочный этап характеризуется большими объемами горных и буровых работ, которые в значительной степени влияют на стоимость разведки каждой тонны запасов руд. На обеих стадиях этого этапа указанный геохимический метод играет большую роль для обеспечения полноты вскрытия рудных тел на глубоких горизонтах разведываемых объектов, а также при изучении прилегающих к ним геологически благоприятных в отношении рудоносности участков.

Другим важным применением этого геохимического метода является определение направления горных и буровых работ при прослеживании и оконтуривании рудных тел и тем самым — повышение результативности работ. На ряде примеров установлено, что закономерности распределения элементов в эндогенных ореолах, образующихся около рудных тел, и в особенности зональность их строения, могут быть использованы для оценки масштабов рудоносности горизонтов, расположенных ниже горизонта горных работ или горизонта, вскрытого буровыми скважинами. На основе такой оценки можно более целенаправленно закладывать буровые сква-



жины и вертикальные горные выработки для вскрытия нижних рудоносных интервалов.

Весьма вероятно, что использование особенностей первичных геохимических ореолов эффективно при определении контуров блоков, по которым производятся подсчеты запасов категорий C_1 и C_2 . При решении этой задачи следует учитывать две особенности: 1) для низких категорий значительный удельный вес составляют запасы, которые подсчитываются при оконтуривании блоков методами интерполяции и экстраполяции и 2) для определения параметров рудных тел при подсчете запасов низких категорий часто используются данные буровых скважин. Как в том, так и в другом случае для подтверждения достоверности подсчета запасов требуются дополнительные обоснования. Особенно это относится к данным, полученным по керну буровых скважин, которые обычно считаются недостаточно достоверными. Особые трудности в связи с этим возникают при подсчете запасов C_2 , которые часто определяются на основе параметров рудных тел, устанавливаемых по данным единичных буровых скважин.

Требование этих дополнительных обоснований вызвано рядом существующих в практике подсчета запасов условий, определяющих достоверность подсчета. Так, например, считается недопустимым включать в подсчет запасов без дополнительных обоснований вычисленные по данным буровых скважин содержания рудных компонентов, более высокие по сравнению с содержаниями их, полученными по участкам детально разведанным горными выработками. В практике подсчета запасов руд цветных металлов известны случаи (Коган, 1971), когда считаются завышенными сведения о содержании рудных элементов и мощности рудных тел, подсчитанные по керну тех буровых скважин, которые пробурены по линии, расположенной ниже горизонта горных работ, если эти сведения указывают на более высокое качество руд. Все это говорит, что данные буровых скважин для подсчета запасов в настоящее время признаются недостаточно достоверными и требуют различных дополнительных обоснований, получение которых часто весьма затруднительно. В ряде случаев это вызывает применение существенных дополнительных объемов горных или буровых работ.

В связи с вышеизложенным возникает весьма важная для разведки рудных месторождений задача разработки критериев повышения результативности буровых скважин и достоверности полученных по ним данных. Детальное изучение

первичных геохимических ореолов, образующихся около самого различного типа рудных тел, показывает, что особенности распределения элементов в них могут быть использованы в качестве таких критериев.

Этими исследованиями также установлено, что параметры первичных ореолов зависят не только от состава и строения околорудного пространства, в котором они развиваются, но в первую очередь от параметров рудных тел. Таким образом, количественные выражения параметров ореолов могут являться важным критерием для дополнительного обоснования качества руд, установленного по керну буровых скважин. Параметры первичных геохимических ореолов в срезе, вскрытом буровой скважиной, можно использовать для подтверждения параметров рудных тел, искаженных в связи с избирательным истиранием основных рудных минералов или же в связи с недостаточным выходом керна.

Геохимические критерии, основывающиеся на особенностях первичных (эндогенных) геохимических ореолов, по нашему мнению, с успехом могут использоваться для обоснования контуров блоков подсчета запасов методами интерполяции и особенно — экстраполяции.

Принцип определения таких контуров методом интерполяции страдает существенным недостатком, заключающимся в том, что чем дальше друг от друга расположены горные выработки или буровые скважины, между которыми проводится линия, ограничивающая контур подсчетного блока, тем больше запасов руд прирезается к кондиционным пересечениям. При значительных расстояниях между выработками, что часто наблюдается, в частности при предварительной разведке, для обоснования определяемых контуров блоков приходится прибегать к различным дополнительным расчетам, усложняющим подсчет запасов и, что особенно неприятно, мало влияющим на повышение его достоверности.

Еще более резко этот недостаток проявляется при использовании метода экстраполяции, широко применяемого для подсчета запасов по низким категориям и особенно по категории C_2 . С помощью метода экстраполяции часто оконтуриваются блоки, опирающиеся на выработки или буровые скважины, располагающиеся главным образом по одной стороне блока. В этом случае количественные параметры первичных ореолов, выявленные по таким опорным выработкам и скважинам могут явиться важными критериями для повышения достоверности определенных контуров подсчетных блоков.

Для обеспечения полноты разведанности месторождений значительный интерес могут представить данные геохимического опробования буровых скважин, пройденных за пределами влияния выработок и скважин, на которые опирается подсчет запасов (законтурные пространства). Полученная при этом геохимическая информация позволяет делать надежные выводы о степени вероятности обнаружения на законтурных участках скрытых рудных тел.

Приведенными примерами, показывающими, какие задачи могут решаться с помощью геохимических исследований на стадии предварительной и детальной разведки, далеко не исчерпываются возможности этих исследований. Расширение применения их на практике и проводимые при этом методические работы позволят значительно усовершенствовать геохимические критерии и существенно расширить круг вопросов, которые успешно могут разрешаться с их помощью.

Все сказанное выше говорит о той роли геохимических методов, которую каждый из них может сыграть для повышения геологической и экономической эффективности геологоразведочных работ на всех этапах и стадиях.

ЛИТЕРАТУРА

Гундобин Г. М., Зубков В. С. и др. Критерии различия даек гранитоидного состава в ханчераггинском рудном узле. — Ежегодник Сибирского ин-та геохимии. Иркутск, 1971.

Коган И. Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1971.

Резников И. Н., Гулиев Г. Г. О геохимической основе крупномасштабного прогнозирования рудных районов. В сб. «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», вып. 6. Изд. ИМГРЭ, 1971.

Резников И. Н., Янишевский Е. М. Об использовании геохимических методов при геологосъемочных работах. В сб. «Научные собрания ИМГРЭ», вып. 9. Изд. ИМГРЭ, 1971.

Таусон Л. В., Козлов В. Д. и др. Геохимические особенности внегеосинклинальных гранитоидов складчатых областей различного возраста. — Ежегодник Сибирского ин-та геохимии. Иркутск, 1970.

Янишевский Е. М. О применении геохимических методов при геологосъемочных работах. — Разведка недр, 1968, № 8.

ПЕРВИЧНЫЕ (ЭНДОГЕННЫЕ) ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОРЕОЛЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЕРИЛЛИЯ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ ПОИСКАХ СКРЫТОГО БЕРИЛЛИЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ

В настоящее время большое внимание уделяется поискам и промышленному освоению месторождений бериллия различных генетических типов. Помимо комплексных вольфрамит-молибденит-берилловых грейзеновых месторождений, которые наряду с пегматитами считались ранее единственными реальными источниками бериллиевого сырья, выявлены и приобрели большое промышленное значение среднетемпературные гидротермальные собственно бериллиевые месторождения фенакитовых, фенакит-бертрандитовых и гентгельвиновых руд.

С целью разработки геохимических поисковых критериев для месторождений бериллия в течение ряда лет проводилось изучение первичных (эндогенных) геохимических ореолов следующих типов месторождений бериллия.

I. Изумрудоносные «слюдиты» в ультраосновных породах.

II. Комплексные вольфрамит-молибденит-берилловые альбитит-грейзеновые в алюмосиликатных породах.

III. Комплексные вольфрамит-молибденит-берилловые кварцево-жильные грейзеновые в алюмосиликатных породах.

IV. Гентгельвиновые, в метасоматически измененных гранитоидах.

V. Флюорит-фенакит-бертрандитовые в карбонатных породах.

VI. Полевошпат-бавенит-фенакитовые в породах ультраосновного состава.

Геологические условия образования типов месторождений в отношении магматического и структурно-литологического контроля оруденения, а также физико-химических параметров рудоотложения весьма разнообразны, что позволяет считать

эти месторождения достаточно представительными для характеристики пневматолитово-гидротермальных образований бериллия в целом.

На основе существующих представлений об условиях формирования бериллиевых месторождений с учетом данных, полученных при изучении первичных ореолов, перечисленные месторождения могут быть отнесены к относительно высокотемпературным, преимущественно грейзеновым образованиям (I, II, III) либо к среднетемпературным гидротермальным (IV, V, VI). Они являются продуктами деятельности послемагматических фторсодержащих растворов. Характер бериллиевой минерализации и состав элементов, сопутствующих бериллию в рудах, на разных этапах месторождений существенно отличается. Так, на высокотемпературных месторождениях, основным бериллиевым минералом которых является берилл, характерную ассоциацию сопутствующих элементов составляют вольфрам, висмут, молибден, олово и др. компоненты. В рудах среднетемпературных месторождений более характерна ассоциация фенакита и берtrandита с минералами редких земель, ниобия, тантала.

Ниже приведены самые общие особенности первичных ореолов изученных типов месторождений, а также рассмотрены вопросы, возникающие при использовании первичных ореолов в практике геологоразведочных работ.

Общая характеристика первичных ореолов

Состав ореолов. Первичные геохимические ореолы, как и рудные тела, около которых они образуются, характеризуются сложным многокомпонентным составом. Помимо бериллия, контрастные ореолы во вмещающих породах образуют молибден, вольфрам, олово, висмут, свинец, цинк, медь, редкоземельные элементы, фтор, а также щелочные металлы — калий, натрий, рубидий и литий.

Отмечается, что состав ореолов, в соответствии с охарактеризованными выше особенностями состава рудных тел, на различных типах бериллиевых месторождений несколько изменяется. Так, на высокотемпературных грейзеновых месторождениях (типы I, II, III) в составе ореолов практически отсутствуют аномальные концентрации редкоземельных элементов, а свинец фиксируется слабоконтрастными аномалиями. В то же время эти элементы весьма характерны для ореолов месторождений, образованных в условиях среднетем-

Состав элементов-индикаторов первичных ореолов различных типов месторождений бериллия

Тип месторождений	Элементы-индикаторы														Элементы, не образующие ореолов
I.			F		Li	B	Be	Cu	Zn	Pb	Mo	W	Sn	Bi	TR
II	K	Na	F	Rb	Li	Zn	Mo	W	Cu	Be	Sn	Pb	Bi		TR B
III			F		Li	Zn	Pb	Cu	Be	Sn	Bi	W	Mo	Ag	TR B
IV	K	Na	F	Zn	Rb	Li	Pb	TR	Be	Sn	Cu	Mo			W Bi B
V			F	Pb	Cu	Zn	Rb	Li	Be	TR	Mo	Cu			W Bi
VI	K	Na	F	Pb	Zn	Bi	B	Rb	Li	Sn	TR	Mo	Cu		W Bi

пературного гидротермального процесса (IV, V, VI). Противоположная распределению редкоземельных элементов закономерность устанавливается для вольфрама и висмута.

Таким образом, из состава первичных ореолов различных типов месторождений бериллия может быть выделена, с одной стороны, группа типоморфных элементов-индикаторов, в основном вольфрама и висмута, образующих контрастные ореолы на высокотемпературных грейзеновых месторождениях (I, II, III). С другой стороны — группа редкоземельных элементов, характерных для ореолов собственно гидротермальных месторождений.

Прочие элементы-индикаторы (щелочные металлы, фтор, бериллий, олово, молибден, свинец, цинк, медь, серебро), составляющие группу так называемых «сквозных» компонентов ореолов, определяют качественно однообразный состав первичных ореолов бериллиевых месторождений.

Характеристики состава первичных ореолов различных типов месторождений бериллия и соотношение параметров ореолов отдельных элементов могут быть проиллюстрированы прилагаемой табл. 1.

В приведенных рядах элементы-индикаторы перечислены в порядке убывания величин линейных продуктивностей ореолов каждого элемента, что позволяет в самом общем виде судить об относительной роли каждого элемента в формировании типов комплексных ореолов изученных месторождений. Однако для сопоставления ореолов различных типов месторождений и выработки критериев, позволяющих различать первичные ореолы рудных тел различного генетического типа, требуются более достоверные параметры, которые в виде количественных показателей характеризовали бы состав ореолов различных типов месторождений.

Для получения таких параметров были проведены сопоставления величин линейных продуктивностей, уровней концентраций элементов в ореоле и т. д. В табл. 2 приведены сравнительные данные о величинах линейных продуктивностей первичных ореолов основных элементов-индикаторов некоторых типов бериллиевых месторождений.

Таблица показывает, что колебания величин линейных продуктивностей ореолов каждого элемента для разных типов месторождений весьма значительны, причем эти изменения не имеют четко выраженной закономерности, что исключает возможность использования указанного параметра в качестве классификационного признака первичных ореолов,

Величина линейных продуктивностей (м.%) первичных ореолов
основных элементов-индикаторов

Тип месторождений	F	Li	Be	Mo	Sn	Pb	Zn	Cu
I	88,4	3,4	0,30	0,07	0,04	0,10	0,3	0,3
II	1410,0	78,7	6,7	18,6	5,7	5,0	25,8	7,60
IV	50,8	2,4	0,8	0,07	0,4	1,50	6,5	0,10
V	19,5	0,4	0,10	1,24	0,04	0,5	0,2	0,3
VI	60,2	0,8	2,7	0,04	0,8	8,8	3,2	1,20

В дальнейшем удалось выяснить, что наиболее пригодным для получения достоверных параметров является метод, основанный на учете удельной роли каждого элемента в общей суммарной продуктивности ореола. Количественным выражением этой роли является процентное отношение величин частных линейных продуктивностей к суммарной продуктивности комплексного ореола. Указанный подход обеспечивает единообразие и сопоставимость используемых статистических признаков по каждому из рассматриваемых типов месторождений.

Анализ изменения полученных числовых характеристик выявляет интересные закономерности (табл. 3). В частности, для всех типов месторождений установлена устойчивая фтор-бериллиевая специализация ореолов. Роль фтора—основного элемента-минерализатора, независимо от различий исходных величин линейных продуктивностей его ореолов (см. табл. 2) сохраняется на уровне 90% (84—93%). Поведение бериллия также достаточно стабильное.

В отличие от фтора и бериллия, при переходе от высокотемпературных грейзеновых месторождений к собственно гидротермальным образованиям в первичных ореолах резко уменьшается доля лития—от 70% (I) до 4% (VI), что, очевидно, является следствием падения интенсивности процесса грейзенизации с понижением температуры формирования месторождений. В противоположность литию, закономерно и весьма существенно в ряду месторождений I—VI типов возрастает удельная роль свинца (от 2 до 54%), что не противоречит известному факту увеличения роли этого элемента при формировании состава руд среднетемпературно-гидротермальных месторождений бериллия.

Удельная роль элементов-индикаторов
в комплексных ореолах разных типов бериллиевых месторождений, в %

Тип месторождений	F	Li	Be	Sn	Mo	W	Bi	Pb	Zn	Cu	B	TR
I	93,2	69,1	6,4	0,7	1,4	1,2	0,4	1,8	5,6	5,8	9,1	—
II	89,0	54,2	4,2	3,6	10,7	5,4	0,8	3,1	13,2	4,8	—	—
III	90,3	49,4	5,5	5,1	0,2	4,1	4,8	9,6	14,5	6,0	—	—
IV	84,0	21,5	6,6	3,3	0,6	—	—	12,9	43,9	1,0	—	10,2
V	91,2	111,5	6,6	2,4	3,6	—	—	35,1	112,6	18,6	3,6	4,8
VI	84,0	4,0	112,2	3,9	2,2	—	—	53,7	14,5	1,8	4,6	3,5

Удельная роль фтора рассчитана с учетом всей ассоциации элементов-индикаторов, роль прочих элементов рассчитана без учета фтора.

Характер послемагматического щелочного метасоматоза, сопутствующего формированию бериллиевого оруднения, и масштабы метасоматических процессов наглядно выявляются при анализе количественных соотношений величин продуктивностей ореолов щелочных металлов (табл. 4).

Таблица 4

Удельная роль щелочных металлов в комплексных ореолах разных типов бериллиевых месторождений, в %

Тип месторождений	Основные минералы бериллия	K	Na	Rb	Li	Сумма металлов (K+Na+Rb+Li)
II	Берилл	44	34	1,5	0,9	80,4
IV	Гентгельвин	53	29	1,4	0,5	83,9
VI	Фенакит	58	19	1,0	0,2	78,2

Установлена стабильная роль суммы величин продуктивностей щелочных металлов (K+Na+Li+Rb), что, очевидно, может свидетельствовать о сохранении общего баланса щелочей, участвующих в процессах рудообразования. В то же время соотношение калия с прочими компонентами ореолов указывает на возрастание его роли (от 44 до 58%) при переходе от высокотемпературных комплексных месторождений (II), связанных с кислыми гранитами, к месторождениям, являющимся производными интрузий субщелочного состава (IV, VI).

В отличие от калия, для натрия, рубидия, а также лития устанавливается обратная закономерность, а именно уменьшение их роли в ореолах месторождений II → IV → VI соответственно от 34; 1,5 и 0,9% до 19; 1,0 и 0,2% (см. табл. 4).

В заключение характеристики состава первичных ореолов месторождений бериллия необходимо остановиться на особенностях корреляционных связей между распределением элементов в ореолах. Как известно, существенная положительная корреляция в ореолах устанавливается между элементами, преимущественное накопление которых предполагается в пределах одной определенной стадии рудного процесса. В ореолах высокотемпературных грейзеновых месторождений (I—III) значимая положительная корреляционная зависи-

мость установлена между бериллием и прочими элементами ореола, за исключением свинца, цинка и меди, связь бериллия с которыми несущественная.

Это позволяет предполагать одноэтапное синхронное накопление большинства элементов, образующих ореол в условиях грейзенового процесса. В ореолах среднетемпературных гидротермальных образований (IV—VI) бериллий, наоборот, тесно связан с халькофильными элементами и фтором и не обнаруживает устойчивой существенной корреляции с щелочными металлами и редкими землями. Отличительной чертой всех рассматриваемых типов месторождений является наличие отрицательной формы корреляции между натрием и прочими компонентами ореолов.

Морфология и размеры ореолов. Морфология ореолов определяется в общем виде структурными условиями формирования месторождений.

Над куполами минерализованных гранитов, в апикальных частях которых локализуются альбит-грейзеновые месторождения, наблюдаются ореолы грубоизометричной формы, которая может быть значительно усложнена путем развития ореолов вдоль дорудных даек и тектонических нарушений.

В случае линейно ориентированных рудоконтролирующих структур ореолы приобретают форму линзовидных полос, относительно равномерно окаймляющих рудные зоны.

На размеры первичных ореолов основное влияние оказывают степень трещиноватости пород, взаимоотношение дизъюнктивных рудолокализирующих структур со складчатостью, а также нейтрализующие свойства пород, в которых развивались ореолы.

В общем случае, при прочих равных условиях, наиболее широкие ореолы выявляются в породах, наименее отличных по химическому составу от рудоносных гранитов и, наоборот, в породах карбонатного и ультраосновного состава развиты значительно более локальные ореолы.

Эндогенные ореолы сближенных рудных тел, как это обычно имеет место, на изученных месторождениях сливаются между собой, образуя общий ореол месторождения либо крупных рудных зон.

Различные элементы-индикаторы образуют различные по ширине ореолы. Во внешней зоне ореолов концентрируются преимущественно элементы широкого рассеяния: щелочные металлы (калий, натрий), фтор. Прочие элементы образуют ореолы комплексного состава во внутренней зоне, причем

наиболее значительные по размерам ореолы здесь образуются основными рудообразующими компонентами (бериллий, вольфрам, молибден, висмут на высокотемпературных грейзеновых месторождениях и бериллий, свинец, цинк на средне-температурных собственно бериллиевых проявлениях). Ореолы прочих элементов-индикаторов более локальны по размерам. Поля максимальных концентраций, образующих ореол внешних и внутренних зон, как правило совмещены, за исключением натрия, накопление которого отмечается во всех случаях в периферической зоне общего ореола.

Ореолы комплексного состава, сопровождающие крутопадающие рудные зоны, распространяются над рудными телами более чем на 150—200 м. Полного выклинивания ореолов по восстанию рудных зон нигде не установлено.

Вертикальная зональность ореолов. Значительный диапазон развития эндогенных ореолов по вертикали при сохранении комплексности их состава предопределяет возможность использования ореолов при поисках глубокозалегающего бериллиевого оруденения. Особое значение при этом принадлежит вертикальной зональности в строении первичных ореолов, которая обусловлена неравномерным дифференцированным распределением элементов-индикаторов в вертикальных разрезах.

Для сопоставления особенностей распределения химических элементов в первичных ореолах для разных типов изученных месторождений были составлены ряды вертикальной зональности элементов-индикаторов бериллиевого оруденения. Положение в рядах зональности каждого элемента определяет уровень его максимального накопления в рассматриваемых зональных колоннах относительно прочих компонентов ореола. При сравнении полученных рядов зональности различных типов месторождений бериллия (табл. 5) устанавливается единообразная вертикальная зональность первичных ореолов, что подтверждается определенным сходством в расположении отдельных элементов-индикаторов в приведенных рядах. Примечательным также является то, что полученные статистическим путем ряды зональности в первичных ореолах в общем виде согласуются с зональностью отложения рудогенных элементов, установленной на редкометальных грейзеновых месторождениях. Последняя, по данным Г. Н. Щербы, имеет вид (сверху вниз): медь, цинк, свинец, вольфрам, висмут, бериллий, молибден, олово. Приведенный ряд рудной зональности грейзеновых месторождений ха-

Ряды зональности элементов-индикаторов

Тип месторождений	Ряды зональности																			
I									B ₁	Pb	Mo ₁	F	Li		Be	Sn	Zn	Cu	Mo ₂	B* ₂
II					Na	K	Rb	Zn	Cu	PbLi	F	W		Be	Mo	Bi	Sn			
III								Zn	Cu	PbLi	F	W		Be		Bi	Sn			
IV								Sn	Cu	Pb	F	Li	Zn	Be	Mo		TR			
V									Cu	PbLi	F	B		Be	Mo		Sn	Zu		
VI	Pb ₁	Na	Rb	K	Li	TR ₁	Mo ₁	B	Zn	Cu	F			Be	Sn		Mo ₂	TR ₂		Pb ₂

* Анализ проб на более широкий круг элементов не производился.

рактирует лишь комплексные вольфрам-молибден-бериллиевые месторождения (типы II—III) и не учитывает особенности распределения рудогенных элементов других типов месторождений бериллия, а также элементов-спутников. В этом смысле ряды зональности распределения элементов в первичных ореолах являются более полными, поскольку в зональной колонне определяется положение порообразующих элементов, редких щелочей и фтора как для высокотемпературных грейзеновых, так и для среднетемпературных собственно гидротермальных месторождений.

Вертикальная зональность первичных ореолов отражает, очевидно, весь ход формирования месторождений бериллия — от ранних этапов метасоматической переработки гранитоидов до завершающих стадий собственно рудного процесса.

Есть основание предполагать, что процесс образования первичных ореолов начинается с накопления в рудовмещающих породах щелочных металлов, что подтверждается и характером корреляционных связей между компонентами ореолов, и повсеместно проявленной приуроченностью месторождений бериллия к массивам метасоматически измененных гранитоидов. Дальнейшее развитие метасоматоза приводит к образованию грейзеновых фаций и других продуктов кислотной стадии. При этом состав ореолов существенно расширяется и наряду со щелочными металлами во вмещающие породы при активном участии фтора выносятся бериллий, вольфрам, молибден, олово, свинец, цинк, редкие земли и другие элементы.

Приведенная схема последовательности образования ореолов в принципе объясняет расположение химических элементов в рядах вертикальной зональности.

В частности, процессы раннещелочного метасоматоза, предшествующего оруденению, приводят к образованию зон относительного накопления щелочных металлов в верхних частях зональной колонны (левые части рядов зональности). Область максимального накопления бериллия, вольфрама, молибдена, висмута, олова, во фронтальной части которой располагается фтор и литий (см. табл. 5), проявлена гипсометрически ниже уровня накопления свинца, цинка и меди. Это, очевидно, связано с тем, что соединения, в форме которых осуществляется перенос последних, обладают большей устойчивостью сравнительно с фторокомплексными соединениями, формирующими ореолы бериллия, вольфрама, мо-

либдена, олова и других элементов, что должно определять более продолжительное нахождение полиметаллов в восходящих рудных растворах и, в конечном счете, обуславливает их относительную концентрацию в верхних частях зональной колонны, выше основных рудогенных элементов.

Сравнительно с охарактеризованным стандартным рядом вертикальной зональности, в частных рядах имеются определенные отклонения, связанные с перемещениями отдельных элементов в рядах. Наиболее существенные отклонения отмечены в ореолах месторождений типа изумрудоносных слюдитов (I) и полевошпат-бавенит-фенакитовых (VI). Ряды зональности на указанных месторождениях фиксируют в нижних частях зональной колонны дублирование максимумов накопления халькофильных элементов, редких земель и бора (см. табл. 5). Это так называемые случаи развития полиформационных ореолов. Причина их образования на месторождениях бериллия до сих пор остается не изученной, однако следует указать, что ореолы, характеризующиеся совмещенной зональностью, проявлены лишь на месторождениях, сформированных в породах ультраосновного состава.

Вертикальная зональность в строении ореолов используется при определении уровня их эрозионного среза относительно ожидаемого оруденения. Для этих целей эффективно использование мультипликативных отношений параметров ореолов групп надрудных элементов к подрудным (величины средних содержаний, линейных продуктивностей и т. п.). Выбор комплекса надрудных и подрудных элементов-индикаторов производится с учетом принадлежности элементов к верхним и соответственно к нижним частям рядов вертикальной зональности, установленным на основе изучения эталонных месторождений.

Ниже, в табл. 6, приведены наиболее контрастные показатели зональности, характеризующие отношения величин линейных продуктивностей на различных уровнях первичных ореолов некоторых типов изученных месторождений бериллия.

Прежде всего обращает на себя внимание отсутствие универсальных критериев по определению уровня выявленного среза первичных ореолов различных типов бериллиевых месторождений, что при наблюдаемом единообразии рядов вертикальной зональности объясняется незакономерным распределением большинства элементов в вертикальных разрезах, их максимальным накоплением на уровнях развития руд-

Отношения величин линейных продуктивностей
на различных уровнях ореолов для разных типов месторождений
бериллия

Тип место- рождений	Индикаторные отношения	Уровень среза		
		Надруд- ный	Рудный	Подруд- ный
I	$\frac{\text{Литий}}{\text{Медь}}$	$100 \times n$	$10 \times n$	$0,1 \times n$
V	$\frac{\text{Литий} \times \text{Свинец}}{\text{Цинк}^2}$	$100 \times n$	n	$0,1 \times n$
VI	$\frac{\text{Литий}^2}{\text{Медь} \times \text{Редкие земли}}$	$110 \times n$	$0,1 \times n$	$0,01 \times n$

ных тел. Этим нарушается однонаправленный характер градиента концентраций и других параметров ореолов при переходе от верхних надрудных уровней к нижним, что исключает возможность использования многих элементов в качестве индикаторов вертикальной зональности.

Полученные статистическим путем ряды зональности первичных ореолов месторождений бериллия отражают, очевидно, лишь общую тенденцию качественного изменения параметров ореолов в вертикальных сечениях.

Приведенные показатели уровней эрозионного среза первичных ореолов (табл. 6) используют отношения величин линейных продуктивностей ореолов лишь тех элементов, которые определяются в пробах при массовых приближенно-количественных анализах. Следует отметить, что использование в качестве надрудных элементов-индикаторов дополнительно также и щелочных металлов (калий, рубидий) позволяет значительно увеличить контрастность показателей зональности.

Особенности поисков месторождений бериллия и критерии оценки геохимических аномалий

Одним из путей повышения эффективности геологоразведочных работ при выявлении и промышленной оценке рудных месторождений является применение геохимических методов,

их комплексирование с различными геологическими и геофизическими методами.

Результаты геохимических исследований позволяют повысить достоверность прогнозной оценки изучаемых площадей, а также служат дополнительным обоснованием для направления дальнейших более детальных работ.

В практике геологоразведочных работ находят применение геохимические методы, основанные на выявлении геохимических ореолов в коренных породах, рыхлых отложениях, почвах, донных осадках, а также в подземных и поверхностных водах. Выбор наиболее эффективного комплекса геохимических исследований зависит от поставленных задач и разрешающей способности того или иного метода в конкретных условиях их применения.

В соответствии с содержанием настоящей работы ниже рассматривается возможность использования первичных ореолов на различных этапах геологоразведочных работ, а также критерии оценки геохимических аномалий, вытекающие из особенностей состава и строения первичных ореолов изученных месторождений бериллия.

Этап геолого-съёмочных работ. Целевым назначением работ здесь является прогнозная оценка перспектив рудоносности картируемых площадей и выделение локальных участков, заслуживающих постановки детальных поисковых работ.

При определении перспектив бериллиеносности новых площадей на основе их геологического изучения необходимо учитывать общие закономерности локализации бериллиевого оруденения, позволяющие судить о возможности образования тех или иных типов месторождений в конкретной геологической обстановке. В числе главных геологических критериев могут быть названы следующие особенности.

1. Наибольшего интереса для поисков месторождений бериллия заслуживают участки проявления интрузивной деятельности вдоль региональных тектонических зон. Подавляющее большинство известных месторождений связано со средне- и верхнепалеозойским либо мезозойским интрузивными комплексами.

2. Интрузии, с которыми пространственно и генетически связаны бериллиевые месторождения, принадлежат к гранитоидам кислого либо субщелочного ряда формации малых глубин, характеризующим заключительные фазы становления гранитных интрузивных комплексов. Наблюдаемые эмпирические закономерности указывают, что с интрузиями гранитоид-

дов кислого состава ассоциирует основная часть высокотемпературных грейзеновых месторождений бериллия, а с гранитоидами субщелочного состава—собственно гидротермальные месторождения.

Бериллиеносные интрузивы обычно заметно изменены метасоматическими процессами и сопровождаются широкими ореолами контактово-измененных пород.

3. Наиболее перспективны для выявления месторождений бериллия районы, характеризующиеся наличием неглубоко денудированных либо нескрытых эрозией интрузивных массивов, связь с которыми бериллиевого оруденения можно считать установленной. Это обусловлено преимущественно локализацией бериллиевого оруденения в апикальных частях и зонах пологих контактов куполовидных выступов интрузий либо в их непосредственных экзоконтактах среди метаморфизованных пород кровли.

4. На локализацию бериллиевого оруденения большое влияние оказывают дизъюнктивные нарушения, а именно, узлы пересечения и сочленения тектонических зон, часто фиксируемых поясами гранитоидных даек. Особенно благоприятными при этом оказываются те участки тектонических зон в экзоконтактах интрузий, которые проходят среди пород карбонатного, карбонатно-углистого либо ультраосновного состава, а также среди толщ с частым чередованием литологически различных прослоев.

Роль тектонических нарушений особенно велика при образовании среднетемпературных гидротермальных месторождений. Последние, в отличие от грейзеновых месторождений, часто пространственно не ассоциируются с магматическими породами и размещаются за их пределами в благоприятных частях тектонических зон.

5. Для выявления некоторых типов гидротермальных месторождений с фенакитовым и фенакит-берtrandитовым оруденением весьма перспективны районы, характеризующиеся наличием полиметаллических и особенно редкоземельно-полиметаллических месторождений, для которых предполагается связь с массивами гранитоидов субщелочного состава. В этом случае при выявлении перспективных площадей главное внимание уделяется изучению флангов этих месторождений как участков наиболее вероятных для локализации бериллиевого оруденения.

С учетом перечисленных выше общих особенностей размещения месторождений бериллия производится выделение ло-

кальных участков, на которых следует провести более детальные поисковые работы, включающие комплекс геохимических методов, для выявления прямых признаков рудоносности.

Таковыми участками в пределах широких площадей экзоконтактовых и надинтрузивных зон потенциально перспективных гранитоидных массивов могут являться участки проявления контактового и гидротермального метаморфизма, особенно над апикальными частями скрытых гранитных массивов, а также участки распространения тектонических нарушений, оперяющих региональные (глубинные) разломы.

Перечисленные образования создают сложные геофизические поля и аномалии, для выявления которых, как известно, весьма эффективно применение различных геофизических методов. Такие аномалии, оцененные как вероятно перспективные в отношении рудоносности, также являются участками, требующими оценки на основе выявления прямых признаков берилленосности.

Все потенциально рудоносные образования, выявляемые в процессе геологического изучения картируемой территории, должны подвергаться геохимическому изучению. Детальность исследования и геохимического опробования в основном определяется масштабом и детальностью геологических наблюдений. Методика проведения этих работ изложена в статье И. Н. Резникова и Е. М. Янишевского¹.

Следует иметь в виду, что в процессе геологической съемки масштаба 1 : 200 000, а также 1 : 50 000 с помощью геохимических методов выявляются прямые признаки рудоносности, на основе которых могут быть обнаружены рудные поля. Учет геологических закономерностей размещения геохимических аномалий позволяет давать достаточно достоверную оценку перспектив рудоносности таким полям и рекомендовать участки для проведения детальных поисковых работ.

Весьма важным показателем перспективности геохимических аномалий, приуроченных к распространению потенциально рудоносных образований, рудогенная природа которых не вызывает сомнения, является типичный комплекс элементов-индикаторов, входящих в их состав, и относительно высокая концентрация последних. Эти данные позволяют уже на этапе геолого-съемочных работ определить тип оруденения, обусловившего обнаруженные геохимические аномалии.

¹ Е. М. Янишевский, И. Н. Резников — О рациональном комплексе геохимических методов, применяемых при поисках и разведке рудных месторождений. — Советская геология № 10, 1971.

Из геохимических критериев для определения формационной принадлежности аномалий может быть использовано описанное выше соответствие элементного состава рудных тел и ореолов. Особенно важно наличие таких типоморфных элементов, как вольфрам и висмут, с одной стороны и, с другой—редкоземельных элементов. Эти группы типоморфных элементов могут указывать на принадлежность аномалии соответственно либо к высокотемпературным грейзеновым, либо к среднетемпературным образованиям.

На этапе поисковых работ, целевым назначением которых является обнаружение конкретных рудных залежей, геохимические работы проводятся с целью систематического изучения площадей, выделенных при геолого-съёмочных работах. При детальном поиске применяются различные поисковые методы (геологические, геофизические, геохимические), комплексирование которых должно обеспечить открытие всех имеющих на исследуемой площади месторождений бериллия, в том числе и скрытых рудных тел.

Оценка выявленных и детально изученных эндогенных геохимических аномалий бериллия и его спутников на данном этапе предусматривает решение двух основных задач.

1. Определение формационной принадлежности выявленной аномалии и ожидаемого типа бериллиевой минерализации.

2. Определение положения эрозионного среза аномалии относительно предполагаемого оруденения.

Решение первой задачи при геохимических поисках, проводимых на флангах известных месторождений с целью расширения их перспектив, не представляет особых затруднений, так как имеется возможность уточнить его при изучении разведанных рудных тел.

В других случаях при определении формационной принадлежности выявляемых аномалий необходимо привлечение целой группы классификационных признаков.

Прежде всего следует указать, что многообразие известных генетических типов бериллиевых месторождений определяется специфическими геологическими условиями локализации оруденения. Учет этих условий позволяет по аналогии с ними судить о генетической принадлежности эндогенных аномалий бериллия.

Из геохимических критериев, определяющих принадлежность эндогенных аномалий к тому или иному типу оруденения, могут быть использованы охарактеризованные ранее ко-

личественные соотношения элементов в ореоле, что находит отражение в изменениях удельной роли линейных запасов каждого элемента-индикатора в аномалии. Для суждения о формационной принадлежности геохимических аномалий бериллия может быть использован коэффициент (K_{Φ}), учитывающий распределение в ореолах бериллиевых месторождений фтора, лития и свинца, являющихся наиболее надежными индикаторами формационной принадлежности.

Расчетная формула этого коэффициента имеет следующий вид:

$$K_{\Phi} = \frac{P_F \times P_{Li}}{P_{Pb}^2},$$

где K_{Φ} — коэффициент формационной принадлежности, P_F , P_{Li} , P_{Pb} — линейные продуктивности ореолов фтора, лития и свинца.

Изменения величин этого коэффициента, вычисленные для ореолов различных типов месторождений в их надрудном уровне, весьма контрастны и характеризуются следующими цифровыми данными:

Тип месторождений	I	II	III	IV	V	VI
Значение коэффициента формационной принадлежности K_{Φ}	16000	2400	650	100	20	2

Обобщая приведенные данные, укажем, что для ореолов высокотемпературных грейзеловых месторождений величина коэффициента K_{Φ} колеблется в пределах $100 \times n - 1000 \times n$, а для среднетемпературных — $n - 10 \times n$.

Удельная роль элементов-индикаторов в комплексных первичных ореолах эталонных месторождений определялась по единой методике. Участвующие в расчетах величины линейных запасов каждого элемента в ореолах численно равны полусумме величин линейных продуктивностей, вычисленных на рудном и надрудном уровне рассматриваемых ореолов.

При интерпретации аномалий, определении их формационной принадлежности, при наличии одного эрозионного среза должны соблюдаться те же условия, а именно: используются усредненные величины линейных продуктивностей ореолов по двум опорным профилям, расположенным вкрест

вытянутости ореола, т. е. вкрест наиболее вероятного прости- рания ожидаемой рудной зоны. Один из профилей располагается в «эпицентре» выявленного ореола, второй — на интер- вале выклинивания комплексного ореола.

Вычисление величин линейных продуктивностей ореолов фтора, лития, рубидия, калия и свинца производится по об- щепринятой методике. При наличии сложного геологического разреза, представленного частым чередованием литохимиче- ски различных пород, общая линейная продуктивность по профилю в пределах установленной ширины ореола опреде- ляется путем суммирования величин линейных продуктивнос- тей, вычисленных для каждого литологически индивидуализи- рованного прослоя.

В качестве дополнительного критерия при определении формационной принадлежности ореолов (аномалий) может служить характер корреляционных связей между распределе- нием элементов-индикаторов в ореоле.

В связи с большим промышленным значением, которое имеют среднетемпературные месторождения бериллия с фе- лакитовым и фенакит-бертрандитовым оруденением, при оценке поисковых аномалий очень важно не пропустить эндо- генные ореолы этого типа бериллиевой минерализации. В числе основных причин, способствующих образованию в руд- ах фенакита, следует указать на повышенную роль в рудных растворах калия, что хорошо согласуется с приведенными выше данными по распределению щелочных металлов в пер- вичных ореолах. Установлено, что удельная роль калия в пер- вичных ореолах возрастает при переходе от грейзеновых (II) к собственно гидротермальным образованиям (IV, VI). В от- личие от калия, для распределения лития и рубидия харак- терна обратная закономерность.

Количественно роль щелочных металлов в первичных ореолах может быть выражена индикаторным отношением

$$K = \frac{P_k^2}{P_{Li} \times P_{Rb}}$$

где P_k , P_{Li} , P_{Rb} — величины линейных продуктивностей ореолов калия, лития, рубидия.

Цифровые значения этого коэффициента применительно к разным типам месторождений бериллия охарактеризованы следующей таблицей.

Из табл. 7 видно, что условия, благоприятные для образо- вания в рудах фенакитовой минерализации, наблюдаются

Значения индикаторного отношения K для разных типов месторождений бериллия

Тип месторождения	$\frac{P_K^2}{P_{Li} \times P_{Pb}}$	Главные минералы бериллия
	I	
IV	~ 4000	Берилл Гентельвин, фенакит
VI	~ 17000	Фенакит

при максимальных значениях полученного коэффициента. При отсутствии аналитических данных, позволяющих определить удельное значение элементов-индикаторов по прочим типам месторождений, ориентировочно можно считать, что первичные ореолы собственно гидротермальных фенакитовых и фенакит-бертрандитовых месторождений (типы V, VI) характеризуются величинами коэффициента, превышающими 10000.

Решение второй задачи — определение уровня вскрытия геохимических аномалий относительно скрытого оруденения — должно производиться с учетом общих геолого-структурных условий локализации бериллиевых месторождений. При этом решаются два основных вопроса.

1. Определение глубины залегания бериллиевого оруденения, связанного с грейзеновыми фациями скрытых куполов редкометальных апогранитов.

2. Оценка эрозионного уровня бериллиеносных тектонических зон, проявленных за пределами рудоносных интрузивов.

В первом случае само положение геохимических аномалий в надинтрузивной зоне невскрытых эрозией гранитных массивов позволяет классифицировать аномалии как надрудные. Оруденение размещается в апикальных частях массивов минерализованных гранитов и в непосредственном экзоконтакте, где связано с системами рудных жил и минерализованными зонами. Продуктивность бериллиеносных зон в породах кровли возрастает по мере приближения к прикровлевым частям интрузий и достигает своего максимума в непосредственном эндо-экзоконтакте скрытой интрузии.

Задача определения уровня вскрытия ореола в данном случае совмещается с задачей определения глубины залегания кровли гранитного массива. С этой целью могут быть

использованы данные о наличии в составе ореолов соответствующего комплекса элементов-индикаторов. В частности, многокомпонентный состав ореолов, характерный для внутренних их зон, может свидетельствовать об относительно неглубоком (не более 250—300 м) залегании кровли купола гранитного массива. В этом случае наряду с элементами широкого рассеяния (фтор, редкие щелочи, калий) контрастно проявлены ореолы большинства рудогенных элементов (бериллий, вольфрам, молибден, висмут и др.).

Детализация подобных ореолов для последующей проверки буровыми скважинами сводится к установлению их «эпицентров», фиксируемых геологической обстановкой и максимальными содержаниями большинства элементов-индикаторов, входящих в состав ореолов.

Количественным геохимическим критерием для определения уровня среза ореола может служить величина геохимического показателя, характеризующего отношение величин линейных продуктивностей элементов-индикаторов широкого рассеяния (фтор, литий) к элементам, наиболее контрастно проявленным во внутренней зоне комплексного ореола (молибден).

Величина показателя коэффициента зональности

$$K_z = \frac{P_F \times P_{Li}}{P_{Mo}^2},$$

где P_F, Li, Mo — величины линейных продуктивностей ореолов соответствующих элементов, для различных уровней эрозионного среза, на различных расстояниях от кровли гранитов составляет:

Метры	$R_{F, Li, Mo}$
0	n
100	$n \times 10^2$
200	$n \times 10^3$
400	$n \times 10^4$
500	$n \times 10^5$

Значительно более сложную задачу представляет оценка по эндогенным ореолам уровня вскрытия среза ореола, приуроченного к зонам тектонических нарушений. Такая задача может возникать при оценке аномалий, сопровождающих оруденение типа изумрудоносных «слюдитов», флюорит-фенакит-

бертрандитового, полевошпат-бавенит-фенакитового и других. Рудные зоны этих месторождений пространственно могут не ассоциироваться с массивами рудоносных гранитоидов и проявлены за их пределами.

При отсутствии универсального геохимического показателя для определения уровня эрозионного среза первичных ореолов на указанных типах месторождений в каждом конкретном случае можно использовать коэффициенты зональности, приведенные в табл. 6, с учетом результатов определения формационной принадлежности аномалий.

При расчетах коэффициентов зональности для выявленного среза первичного ореола достаточно использовать величины линейных продуктивностей соответствующих элементов-индикаторов зональности, вычисленные по одному опорному профилю, расположенному вкrest простиранья ореола, в его «эпицентре».

Методика обработки аналитических данных аналогична применяемой при определении формационной принадлежности аномалий.

Результаты изучения геохимических ореолов месторождений бериллия свидетельствуют о достаточно больших возможностях геохимического метода поисков по первичным ореолам.

В качестве примера использования эндогенных ореолов для выявления скрытого редкометального оруденения можно привести результаты работ по району одного из кварцевожильных грейзеновых месторождений.

Участок, где проводились опытно-поисковые геохимические работы, расположен на площади, окаймляющей выход рудоносного гранитного массива. В геологическом строении площади принимает участие комплекс разнообразных осадочно-метаморфических и вулканогенных образований верхнего силура и карбона, находящегося в сложных структурных взаимоотношениях.

Массив рудоносных гранитов полого погружается под вмещающие породы и на большей части обследованной площади залегает на глубине около 300 м от современной поверхности.

Рудные тела на месторождении представлены в большинстве случаев крутопадающими жилообразными зонами грейзенов и кварцевыми жилами, приуроченными к системам субпараллельных трещин меридионального простиранья. Оруде-

нение в рудных телах комплексное, вольфрам-молибден-бериллиевое.

Особенность локализации рудных тел состоит в четкой приуроченности их к выходам гранитоидных пород. Во вмещающих породах оруденение обычно связано с тонкопрожилковыми штокверковыми зонами, не имеющими промышленного значения.

Все это говорит о целесообразности проведения поисков «слепого» редкометального оруденения в эндоконтакте не вскрытого гранитного массива, под экраном пород кровли.

При проведении поисковых геохимических работ, задачей которых являлось выявление скрытого оруденения на флангах месторождения, были выявлены геохимические аномалии типоморфных элементов-индикаторов редкометального оруденения и на этой основе намечены участки, заслуживающие постановки поисковых буровых работ. В частности, при оценке северных флангов меридиональной системы рудных жил, локализованных в гранитоидном массиве, были выявлены локальные зоны с ореолами поликомпонентного состава (вольфрам, бериллий, висмут, олово, молибден, фтор, литий и др.). Эти зоны, характеризующиеся ореолами комплексного состава, проявлены в пределах широкой (1500—2000 м), протяженной (до 3 км) полосы палеозойских пород меридионального простирания. Характерна приуроченность осевых наиболее обогащенных частей комплексных ореолов к тектонически ослабленным зонам, фиксируемым густой сетью меридионально ориентированных трещин. Из эпигенетических изменений в породах отмечаются слабое окварцевание, хлоритизация и эпидотизация.

Выделенные на площади осевые части комплексных ореолов, очевидно, фиксируют положение в плане глубинных структур, контролирующих размещение оруденения в эндоконтакте интрузии, под породами кровли.

На основе этого было рекомендовано бурение серии наклонных скважин с расчетом вскрытия ими зон эндоконтакта с вероятным оруденением.

Скважина, пробуренная в геохимическом профиле в южной части аномальной зоны, на участке развития комплексного ореола вскрыла контакт гранитной интрузии на глубине 222 м. В породах ее кровли—ороговикованных песчаниках карбона среди гидротермально-измененных пород на интервале 150—190 м пересечена штокверковая зона, представленная субпараллельными крутопадающими прожилками суще-

ственно кварцевого состава, в отдельных случаях содержащими видимый макроскопически вольфрамит. По результатам химанализа, в контуре штокверковой зоны выделен десятиметровый интервал с промышленным содержанием вольфрама.

Для прослеживания по падению выявленного рудного тела в «затылок» первой была пробурена вторая скважина, которой в эндоконтакте гранитного массива вскрыта серия сближенных грейзеновых тел, сопровождаемых кварцевыми жилами с крупными включениями вольфрамита, проявленными на интервале 35 м по скважине.

Приведенный пример указывает на высокую эффективность метода поисков по первичным ореолам редкометалльного оруденения, локализованного над экраном ороговикованных пород мощностью более 200 м. Следует подчеркнуть, что площадь, на которой проводились геохимические работы, являлась объектом детальных поисковых работ (геологическая съемка, поиски, металлотрическая съемка масштабов 1 : 10000), которые, однако, не дали положительных результатов, вследствие чего опоскованная площадь была отнесена в разряд малоперспективных.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОИСКОВ СКРЫТЫХ КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Опытно-методические работы по геохимическим поискам скрытых колчеданных месторождений были начаты Центральной геохимической экспедицией в 1963 г. в Закавказье, с 1965—66 гг. они охватили колчеданосные рудные районы Урала и Рудного Алтая. Необходимость постановки этих работ была обусловлена тем, что металлометрические съемки различных масштабов, проведенные к началу 60-х годов в большинстве известных колчеданосных районов, хотя частично и решали задачу геохимических поисков вскрытых эрозией месторождений, но практически не затрагивали проблемы поисков скрытого оруденения. Важное значение геохимических методов при поисках скрытого оруденения, в особенности поисков по эндогенным геохимическим ореолам, в то время уже не вызывало сомнений. (Красников, 1960; Янишевский и др., 1963). Исследования эндогенных геохимических ореолов колчеданных месторождений в относительно широких масштабах к началу 60-х годов были проведены только на Рудном Алтае (Росман, 1957; 1960), на Урале и Кавказе они находились в начальной стадии (Засухин, Логинова, 1963; Байрамалибеили, Галкина, 1961; Гудишвили, Купрадзе, 1962). Было установлено, что колчеданно-полиметаллические месторождения Рудного Алтая сопровождаются полиэлементными геохимическими ореолами значительных размеров. В их строении выделяли внутренние, промежуточные и внешние зоны, имеющие определенный элементный состав. Однако представления о характерных элементах-индикаторах надрудных и подрудных сечений ореолов, как и о количественных показателях уровня пересечения ореолов относительно рудных тел, еще не были разработаны.

Опыт изучения эндогенных геохимических ореолов некоторых урановых и полиметаллических месторождений показал, что именно указанные представления являются определяющими при разработке методики геохимических поисков скрытого оруденения (Янишевский и др., 1963). Поэтому основное внимание при разработке геохимических методов поисков скрытого колчеданного оруденения уделялось изучению эндогенных геохимических ореолов колчеданных месторождений, установлению их основных параметров и общих особенностей, а изучение экзогенных геохимических ореолов было подчинено задаче выявления закономерностей преобразования эндогенных ореолов в зоне гипергенеза. Выбор месторождений Закавказья в качестве первоочередных объектов опытно-методических работ определялся прежде всего их молодым (юрским—верхнемеловым) возрастом и отсутствием на них послерудного метаморфизма, осложняющему влиянию которого на более древних колчеданных месторождениях Рудного Алтая и Урала многими исследователями придается большое значение. Результаты исследований на месторождениях Урала и Рудного Алтая подтвердили, как будет показано ниже, обоснованность принятой очередности работ.

Основные итоги первого этапа (1963—1966 гг.) опытно-методических работ по геохимическим поискам скрытого колчеданного оруденения были доложены на Всесоюзном семинаре «Эффективность геохимических методов поисков рудных месторождений и широкое внедрение их в практику геологической службы СССР» (апрель 1967 г., г. Душанбе; Баранов и др., 1967). В этом докладе уже содержались все принципиальные положения, лежащие в основе геохимических критериев поисков скрытых колчеданных месторождений по эндогенным ореолам. В дальнейшем, с получением новых данных, эти положения углублялись, детализировались и совершенствовались, но не претерпели существенных изменений.

Полученные методические разработки позволили перейти к опытно-производственным работам по геохимическим поискам скрытого колчеданного оруденения с целью апробации разрабатываемой методики и внедрения ее в практику поисково-разведочных работ. Главные работы были начаты в 1966 г. в Маднеульско-Поладаурской рудной зоне, в Юго-Восточной Грузии, а с 1969 г. в рудных районах Урала и Рудного Алтая. В процессе опытно-производственных работ продолжались совершенствование геохимических критериев поисков скрытого колчеданного оруденения и разработка принци-

пов использования геохимических методов при прогнозо-металлогенических исследованиях рудных районов.

Опытно-методические работы, проведенные партиями Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ в 1963—1972 гг. на 42 колчеданных месторождениях Кавказа (8), Урала (23) и Рудного Алтая (11), позволили собрать представительный материал по характеристике их литохимических ореолов. Полученные данные с различной степенью детальности были рассмотрены в предыдущих работах (Овчинников, Баранов; 1970; Баранов и др. 1970, 1971₂, 1973₃; Баранов, 1971, 1972; Лазарев, Баранов и др., 1972; Рыфтин и др., 1972), поэтому ниже ограничимся краткой характеристикой основных особенностей литохимических ореолов колчеданных месторождений и более подробно рассмотрим геохимические критерии поисков скрытого колчеданного оруденения.

Основные особенности литохимических ореолов колчеданных месторождений

Обобщение и сравнительный анализ полученных материалов по эндогенным геохимическим ореолам колчеданных месторождений со всей определенностью показали, что, несмотря на очевидное разнообразие и сложность состава, морфологии и строения ореолов, им присущи следующие общие особенности:

- 1 — качественно сходный состав;
- 2 — структурный контроль морфологии, строения и размещения;
- 3 — значительные размеры и, в частности, большая протяженность над рудными телами;
- 4 — однотипная зональность;
- 5 — тесная связь с гидротермально измененными породами;
- 6 — сложная зависимость между параметрами ореолов и рудных тел.

Все эти особенности эндогенных ореолов находят свое отражение и при формировании экзогенных геохимических ореолов над выходами эндогенных ореолов на уровне эрозионной поверхности коренных пород.

Состав ореолов. Эндогенные ореолы колчеданных месторождений имеют комплексный полиэлементный состав. В породах, вмещающих колчеданные месторождения, устанавливаются аномальные концентрации очень широкой гаммы элементов (более 30). На примере ореолов колчеданных месторождений получает новые подтверждения тезис о том, что в процессах эндогенного рудообразования участвуют практически все химические элементы: одни в больших масштабах, с образованием рудных тел, зон околорудно-измененных пород и геохимических ореолов, другие—в таких незначительных масштабах, что для установления их аномальных концентраций необходимо применение высокочувствительных методов анализа или специальных методов математической обработки аналитических данных.

На колчеданных месторождениях при спектральном анализе проб практически всегда устанавливаются ореолы меди, цинка, свинца, молибдена, кобальта, а также бария, серебра и мышьяка (для полного выявления ореолов трех последних элементов недостаточна чувствительность обычных методов спектрального анализа). Комплекс этих восьми элементов практически достаточен для выявления геохимических аномалий, связанных с колчеданным оруденением, и их предварительной оценки, и поэтому в практике геохимических поисков в колчеданоносных рудных районах он используется как поисковый комплекс основных элементов-индикаторов.

Состав ореолов колчеданных месторождений различного минерального типа (серноколчеданных, медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических, полиметаллических и барит-полиметаллических) качественно сходен (комплекс ореолообразующих элементов практически один и тот же), но резко отличается по уровню абсолютных концентраций элементов и их соотношениям. Существенно различаются колчеданные месторождения различного типа и по относительным размерам ореолов отдельных элементов. Все это обуславливает возможность выделения типоморфных ассоциаций основных элементов-индикаторов различных минеральных типов колчеданного оруденения (табл. 1). В типоморфную ассоциацию в данном случае включаются те из основных элементов-индикаторов, которые образуют наиболее широкие и интенсивные ореолы, определяющие состав, морфологию, размеры и строение общего комплексного ореола месторождения.

Изучение форм нахождения элементов-индикаторов в ореолах колчеданных месторождений, проводившееся путем вы-

явления основных минералов-концентраторов элементов и определения минерального баланса распределения элементов в породах, показало, что основная форма нахождения халькофильных элементов (меди, цинка, свинца, серебра), а также мышьяка, молибдена и кобальта в ореолах — сульфидная: собственные минералы и примеси в пиритах (Карпухина, Баранов, 1972). Пирит является главным минералом-концентратором элементов во внешних зонах ореолов и только во внутренних, близрудных зонах в заметных количествах появляются выделения халькопирита, сфалерита, галенита, иногда блеклых руд. Исследования форм нахождения микроколичеств меди, цинка и свинца в пиритах, проведенные методом избирательного выщелачивания, позволили установить, что они связаны с наличием в пирите субмикроскопических включений халькопирита, сфалерита и галенита (Баранов и др., 1972).

Экзогенные геохимические ореолы остаточного типа, развитые в элювиально-делювиальных отложениях и в почвах на них, как правило, наследуют элементный состав исходных эндогенных ореолов, но концентрации элементов и продуктивность их ореолов существенно уменьшаются по сравнению с эндогенными ореолами. Несмотря на очевидное перераспределение элементов в разрезе рыхлых отложений, которое проявляется прежде всего в преимущественном накоплении или выщелачивании элементов в том или ином генетическом горизонте почв, соотношения концентраций элементов и, в особенности продуктивностей их ореолов в экзогенных ореолах, развитых в почвах на элювии и делювии коренных пород, остаются близкими к соотношениям их в эндогенных ореолах. В дальнеприносных аллохтонных отложениях, перекрывающих автохтонные образования, развитые в них геохимические ореолы резко уменьшаются, а абсолютные содержания элементов-индикаторов и наложенные экзогенные ореолы часто выявляются только после фазового химического извлечения продуктов эпигенетических изменений пород. Элементный состав наложенных ореолов закономерно изменяется в зависимости от мощности аллохтонных рыхлых отложений: при малой мощности (первые метры) в ореолах фиксируется широкий комплекс элементов-индикаторов, при больших мощностях выявляются аномальные концентрации меди, цинка, молибдена и реже других элементов (Баранов и др., 1972₁). В специфических условиях карстовых депрессий, возникающих над выходами колчеданных рудных тел

Основные особенности состава эндогенных геохимических ореолов колчеданных месторождений

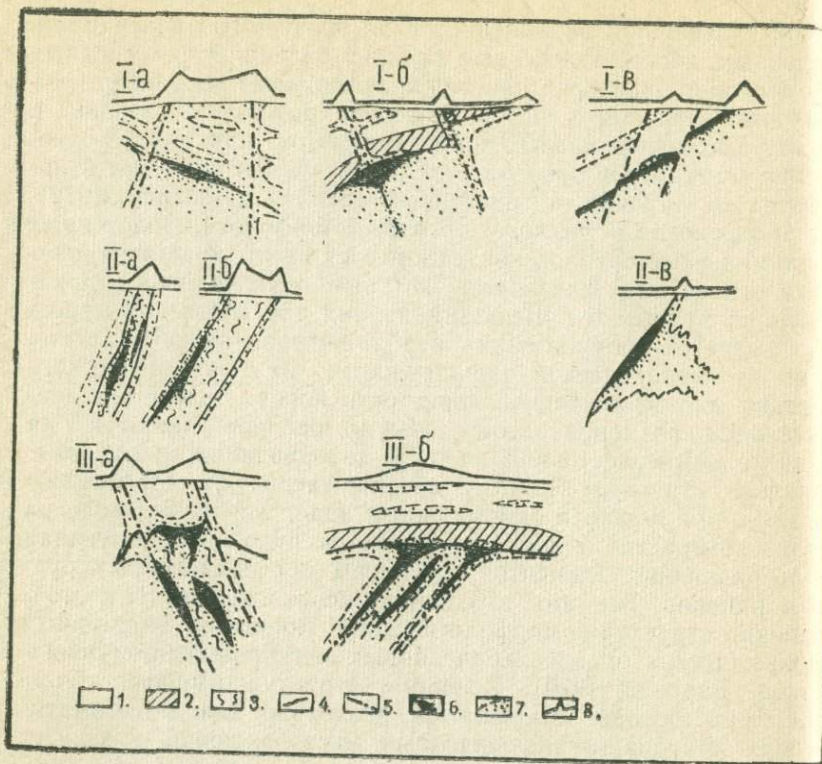
Тип месторождений	Типоморфные ассоциации основных элементов-индикаторов	Элементы-индикаторы ¹	Коэффициент зональности K_3	Примеры месторождений
Серноколчеданный	Mo, Cu	$\frac{Cu, Zn, Pb}{Mo}$	$\frac{0,2-2}{0,01-0,2}$	Андреевское, Зюзельское, Сабановское, Урал
Медноколчеданный	Cu, Zn, Mo, Co	$\frac{Zn, Pb, Ag, Ba}{Mo, Co, Bi}$	$\frac{1-10}{0,05-0,5}$	Маднеульское, Шамлугское, Кавказ; Красногвардейское, Заводское, Озерное, Молодежное, Узельгинское, Гайское, Урал
Колчеданно-полиметаллический	Zn, Pb, Cu, Mo	$\frac{Zn, Pb, Ag, Ba}{Mo, Co, Cu, Bi, Sn}$	$\frac{2,0-20}{0,1-0,5}$	Александринское, Джусинское, Урал; Золотушинское, Орловское, Тишинское, Иртышское, Рудный Алтай
Полиметаллический	Pb, Ag, Zn, Cu	$\frac{Pb, Ag, Ba, Cd}{Cu, Co, Mo, Bi}$	$\frac{2,0-100}{0,1-1}$	Лениногорское, Зыряновское, Степное, Среднее, Рудный Алтай
Барит-полиметаллический	Ba, Pb, Zn, Ag, As	$\frac{Ba, Pb, Ag, Cd}{Cu, Mo, Co, Bi}$	$\frac{5-300}{0,4-2}$	Ахтальское, Кавказ; Заречное, Петровское, Рудный Алтай

¹ В числителе — для надрудных зон, в знаменателе — для подрудных.

и зон сульфидной вкрапленности на эрозионную поверхность коренных пород, экзогенные ореолы большинства основных элементов-индикаторов прослеживаются через весь разрез коры выветривания и перекрывающих рыхлых отложений в полях высокоаномальных концентраций, но при этом соотношения параметров ореолов отдельных элементов резко отличаются от таковых в эндогенных ореолах (Лазарев, 1972).

Морфология и размеры ореолов. Морфология эндогенных геохимических ореолов контролируется теми же структурно-литологическими факторами, которые обуславливают локализацию рудных тел. Ведущим из них для эндогенных ореолов является проницаемость пород, которая зависит от степени их тектонической нарушенности, от литологического состава и от эффективной пористости пород. Вследствие значительных размеров ореолы обычно распространяются на значительные расстояния вдоль рудоподводящих и рудовмещающих структур. Поэтому ореолы наследуют морфологию рудных тел только в самом общем виде, и в их морфологии более контрастно и полно проявляется рудоконтролирующая роль различных элементов структуры колчеданосных рудных районов. Все это обусловило необходимость самостоятельной структурно-морфологической типизации эндогенных геохимических ореолов колчеданных месторождений (Овчинников, Баранов, 1970). Основные структурно-морфологические типы ореолов выделяются отдельно для метасоматических и вулканогенно-осадочных месторождений в зависимости от геолого-структурных условий локализации — в 1) пологозалегающих (обычно согласных), 2) крутопадающих, 3) комбинированных структурах и в зависимости от проницаемости надрудных толщ пород различаются: а) сквозные (открытые) и б) экранированные (закрытые) ореолы (фиг. 1).

Размеры ореолов подавляющего большинства колчеданных месторождений значительны (от сотен метров до нескольких километров по простиранию, от сотен метров до километра по мощности и падению) и зависят от многих факторов: масштабов и строения рудовмещающих структур и структурно-морфологического типа ореола, продуктивности рудообразующих процессов и текстурного типа оруденения (массивные или жильково-вкрапленные руды). Геохимические ореолы месторождений, как правило, охватывают большую часть объема рудовмещающих структур (вулканокупольных построек, брахиоантиклиналей, структурных блоков, зон



Фиг. 1. Основные структурно-морфологические типы эндогенных геохимических ореолов колчеданных месторождений (в поперечных разрезах)

1—рудовмещающие породы; 2—структурно-литологические экраны; 3—рассланцованные породы; 4—контакты породы, благоприятные для локализации рудных тел; 5—разрывные нарушения; 6—рудные тела; 7—эндогенные ореолы; 8—графики распределения элементов-индикаторов на уровне эрозионной поверхности

рассланцевания и т. д.), тогда как рудные тела занимают лишь малую часть (первые проценты) этого объема. Поэтому размеры ореолов месторождений в плане во многих случаях определяются размерами рудовмещающих структур. Ореолы отдельных месторождений и рудопроявлений в пределах рудных полей обычно сливаются между собой, образуя протяженные зоны, фиксирующие региональные рудоуправляющие структуры. Так, в пределах Маднеульско-Поладаурской рудной зоны (Юго-восточная Грузия) выделены и

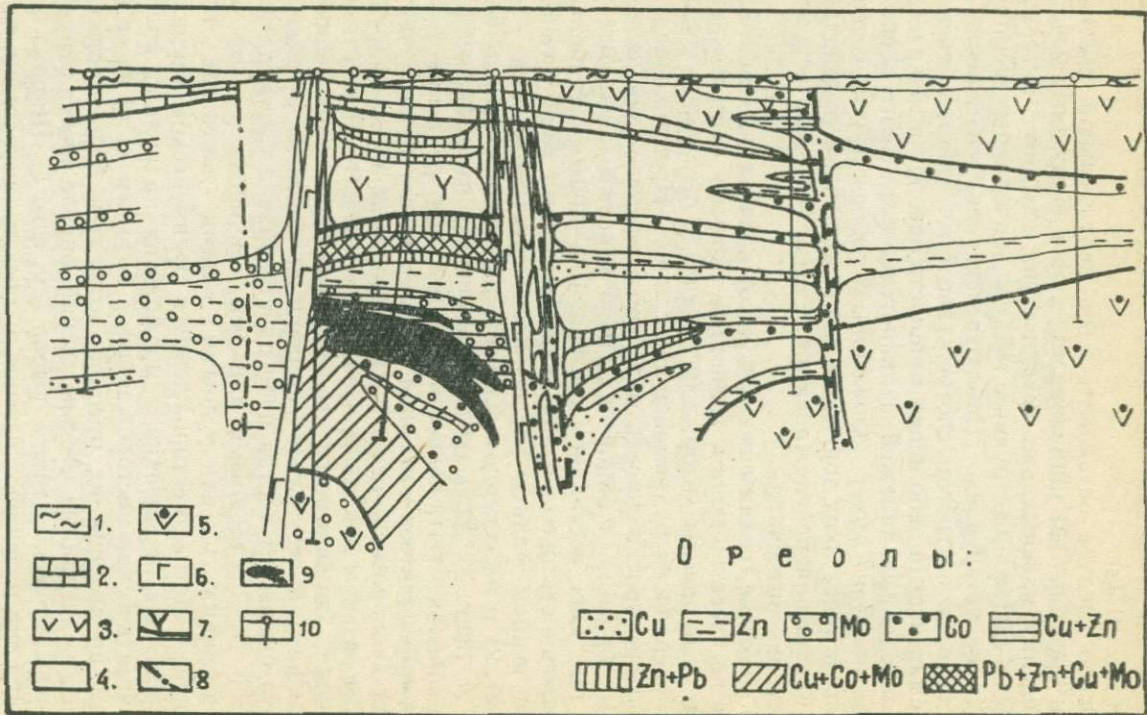
изучены зоны ореолов протяженностью свыше 15 км (Баранов и др., 1971₃).

Особо следует остановиться на вертикальной протяженности ореолов. Выклинивания ореолов в подрудных сечениях в пределах максимально вскрытых на глубину интервалов (до 500—600 м ниже рудных тел) на колчеданных месторождениях не установлено. Наблюдается только изменение состава ореолов в строгом соответствии с их зональностью. Отмечаемая иногда небольшая мощность ореолов в лежащем боку колчеданных залежей вулканогенно-осадочного генезиса не противоречит этому положению, так как в других сечениях ореолы в виде узких зон вдоль крутопадающих рудоподводящих нарушений прослеживаются в пределах всего вскрытого на глубину интервала.

В практике геохимических поисков колчеданных месторождений не известно пока и полностью скрытых месторождений, эндогенные ореолы которых не достигали бы уровня эрозионной поверхности рудовмещающих пород. Прослеженная вертикальная протяженность надрудных ореолов определяется, таким образом, глубиной залегания известных скрытых рудных тел. Она составляет обычно 100—300 м. Наибольшая протяженность ореолов над рудными телами пока установлена на южном фланге Узельгинского месторождения — 600 м (фиг. 2) и на северном фланге Гайского месторождения — 1000 м (фиг. 3). Есть основания считать, что максимальная вертикальная протяженность ореолов над рудными телами будет определяться глубиной формирования рудных тел.

На вулканогенно-осадочных месторождениях надрудные ореолы развиты локально, в полях низкой интенсивности. Они являются, по-видимому, эпигенетическими образованиями, возникшими в результате регенерации вещества рудных тел. На это указывает частая пространственная ассоциация таких ореолов с пострудными дайками, секущими рудные тела. Протяженность их над рудными телами достигает 100 м (Осеннее и Летнее месторождения в Оренбургском Зауралье).

Масштабы проявления и морфология надрудных ореолов метасоматических месторождений, к которым, судя по особенностям проявления их ореолов, относится большинство известных колчеданных месторождений, определяются структурно-морфологическим типом ореола (см. фиг. 1). Широко и интенсивно они развиваются выше рудных тел в условиях сквозных крутопадающих структур, тогда как в экранированных пологозалегающих структурах прослеживаются на значитель-



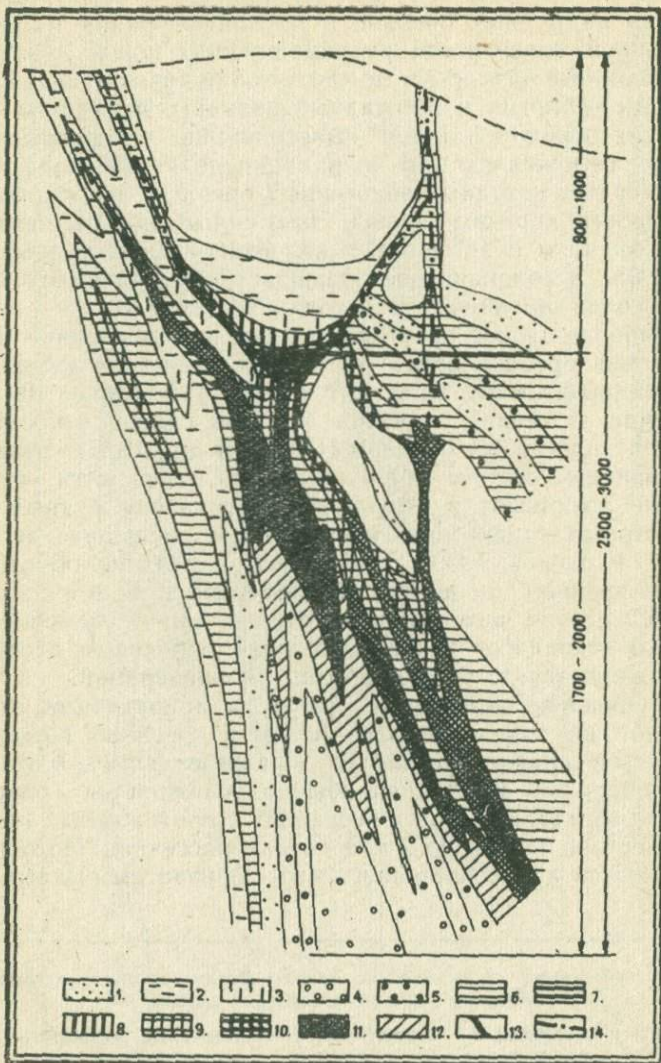
ные расстояния (более 100—150 м) от рудных тел только в узких зонах вдоль крутопадающих секущих нарушений. В том и другом случае площадные масштабы проявления надрудных ореолов и их конфигурация на уровне эрозионной поверхности рудовмещающих пород указывают на возможные размеры и морфологию рудовмещающей структуры. Морфология и площадные размеры экзогенных геохимических ореолов в корях выветривания, в перекрывающих рыхлых отложениях и в почвах определяются морфологией и размерами исходных эндогенных ореолов на эрозионной поверхности коренных пород. Экзогенные ореолы, связанные с разрушением рудных тел, в колчеданосных рудных районах редки, и подавляющее большинство выявляемых экзогенных ореолов приурочено к выходам эндогенных.

Наиболее тесное пространственное унаследование наблюдается для ореолов остаточного типа. Даже в условиях горных ландшафтов отсутствуют существенные (более 10—20 м) смещения экзогенных ореолов вниз по склону относительно выходов эндогенных ореолов (Пурик и др., 1972). Этим рассматриваемые ореолы принципиально отличаются от тех, которые возникают в результате разрушения рудных тел и для которых характерны значительные смещения вниз по склону (Соловов, 1959). Наблюдаемое отличие обусловлено низким уровнем концентраций элементов в эндогенных ореолах, вследствие чего рыхлый материал при перемещении за пределы исходного ореола даже на небольшое расстояние разубоживается до уровня фоновых концентраций.

Наложённые экзогенные ореолы в аллохтонных отложениях обычно «продолжают» ореолы в коренных породах и корях выветривания и имеют в разрезе форму, близкую к столбообразной. Последняя обычно осложняется боковыми апофизами, которые могут переходить в протяженные (на Гайском месторождении до 2 км) потоки рассеяния. Потоки приурочиваются к высокопроницаемым горизонтам рыхлых отло-

Фиг. 2. Эндогенные геохимические ореолы Узельгинского месторождения, Южный Урал (в поперечном разрезе)

1 — глины и суплинки; 2 — известняки; 3 — андезитовые порфириды; 4 — дацитовые и липарит-дацитовые порфириды; 5 — андезит-базальтовые порфириды; 6 — дайки габбро-диабазов; 7 — экран лав дацитовых порфиридов; 8 — разрывные нарушения; 9 — рудные тела; 10 — скважины. Ореолы выделены в границах Ca_2



жений. Прослеживаемые вертикальные размеры наложенных ореолов существенно зависят от метода их выявления. При использовании фазового химического анализа, извлекающего наложенную эпигенетическую составляющую, их надежно выявляемые размеры резко возрастают по сравнению с таковыми по данным спектрального анализа, и ореолы фиксируются в разрезе аллохтонных отложений мощностью до 40—60 м (Баранов и др., 1972). Масштабы проявления наложенных ореолов во многом зависят от истории формирования аллохтонного покрова. Как установлено на примере месторождений Южного Урала, над выходами колчеданных рудных тел и зон сульфидной вкрапленности часто возникают карстовые депрессии, которые фиксируются значительным увеличением мощности коры выветривания и аллохтонных отложений (глин, суглинков и др.). В разрезе последних, в пределах депрессий, устанавливаются специфические отложения типа осадков замкнутых озерно-болотных бассейнов (Лазарев, 1972). В этом случае ореолы в полях высокоаномальных концентраций устанавливаются практически по всему разрезу рыхлых отложений мощностью до 30—50 м, а площадь их распространения ограничивается площадью депрессий.

Зональность ореолов. Эндеогенные ореолы колчеданных месторождений обладают зональным строением, которое обуславливается закономерной пространственной дифференциацией составляющих элементов и наиболее наглядно проявляются в пространственном разобщении полей (зон) различных ассоциаций элементов.

Наиболее общая закономерность зонального строения ореолов колчеданных месторождений, которую впервые установил Г. И. Россман (1957) для месторождений Рудного Алтая, проявляется в расчленении ореолов на внутренние, промежуточные и внешние зоны. Рудные тела находятся во внутренней зоне ореола наиболее полного комплексного со-

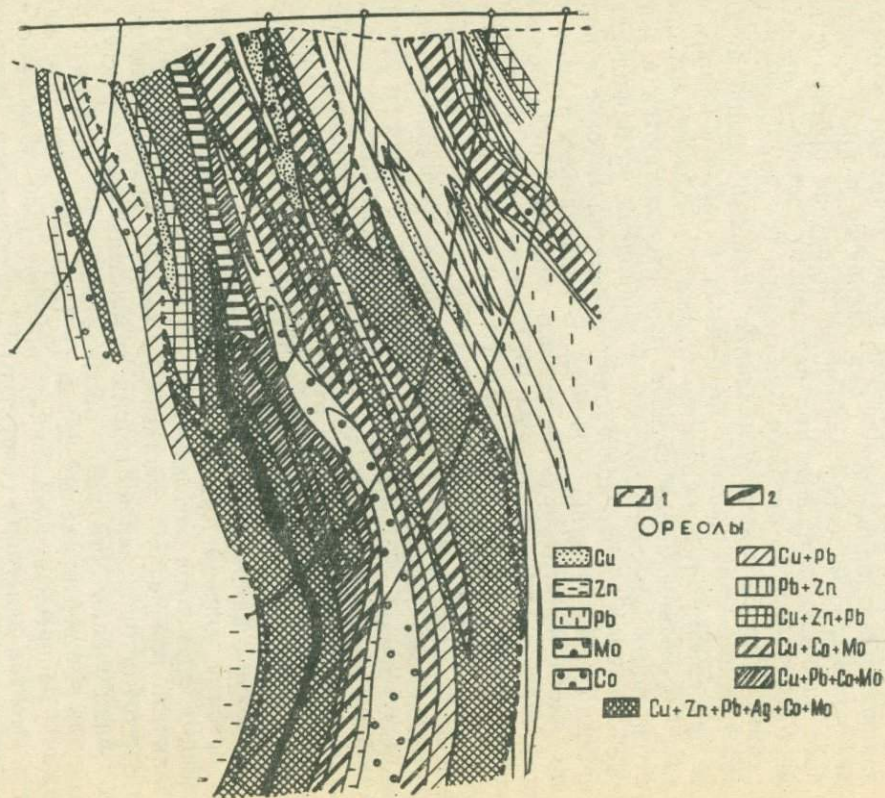
Фиг. 3. Комплексные геохимические ореолы в реконструированном поперечном разрезе Гайского месторождения

1—медь; 2—цинк; 3—барий; 4—молибден; 5—кобальт; 6—медь + цинк; 7—медь + цинк + барий; 8—цинк + свинец + барий; 9—медь + цинк + свинец; 10—медь + цинк + барий + свинец; 11—медь + цинк + свинец + молибден + кобальт + (барий); 12—медь + молибден + кобальт; 13—рудные тела; 14—тектонические нарушения. Ореолы выделены в границах Са₂

става, внешние зоны имеют обедненный элементный состав и обычно образуются основными рудообразующими элементами. Эту зональность следует рассматривать как зональность сложности состава (Зенков, 1972).

Специфической чертой зональности ореолов колчеданных месторождений является ее асимметричность относительно рудных тел, или, в более общем виде, относительно рудовмещающих структур. Она обусловлена однонаправленным изменением состава ореолов по нормали к рудовмещающим структурам и вдоль них, и выражается в преимущественном развитии ореолов цинка, свинца, серебра и бария в одном боку рудовмещающей структуры, а ореолов меди, молибдена, кобальта—в другом. Асимметричность зональности ореолов не зависит от падения рудовмещающих структур, она контрастно проявляется как при пологом, так и крутом их залегании. В пологозалегających структурах зоны медно-цинкового и цинково-свинцового состава всегда устанавливаются в их висячем боку, а зоны молибдено-кобальтового состава—в лежащем боку, в подрудных сечениях ореолов. В крутопадающих зонах расщепления поля молибдено-кобальтового состава приурочены к центральным частям зон и расширяются по падению, а поля медно-цинкового (со свинцом) состава окружают их с внешних сторон. В этом случае при локализации рудных тел в лежащем контакте зоны расщепления поля молибденово-кобальтового состава будут фиксироваться со стороны висячего бока рудных тел (фиг. 4). Учитывая такую единую направленность зональности ореолов, представляется необходимым выделять в них тыловые и фронтальные зоны, которые во многих случаях будут совпадать соответственно с подрудными и надрудными зонами ореолов, но не тождественны им.

Зональное строение ореолов проявляется также в различии величин и направлении градиентов концентраций элементов, которое обуславливает закономерное применение величин соотношений содержаний элементов в пределах ореола. В связи с комплексным составом ореолов наиболее надежным количественным показателем зональности оказываются не парные соотношения элементов, а показатели, учитывающие соотношения групп элементов. При изучении ореолов колчеданных месторождений использовался коэффициент зональности (K_3), представляющий отношение сумм нормированных по геохимическому фону содержаний типоморфных элементов-индикаторов надрудных (фронтальных) и



Фиг. 4. Эндогенные ореолы Ольховского месторождения (поперечный разрез)

1—границы зоны кварц-серicitовых и кварц-серицит-хлоритовых сланцев; 2—рудные тела. Ореолы выделены в границах Ca_2

подрудных (тыловых) зон (Голод, 1967). Типичный вариант—

$$K_3 = \frac{\sum K_a \text{Zn, Pb}}{\sum K_a \text{Cu, Co}},$$

где $K_a = \frac{C_a}{C_{\text{ф}}}$

Величины K_3 возрастают от тыловых (подрудных) зон к фронтальным (надрудным) в десятки-тысячи раз (см. табл. 1).

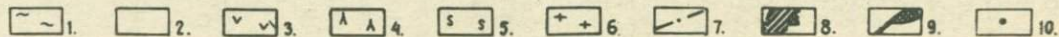
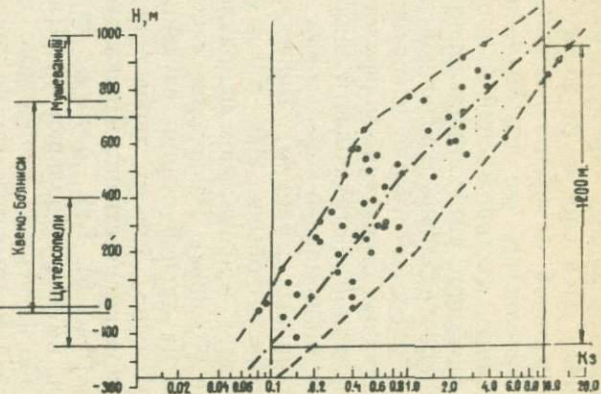
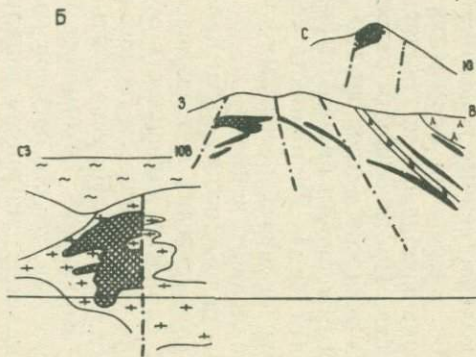
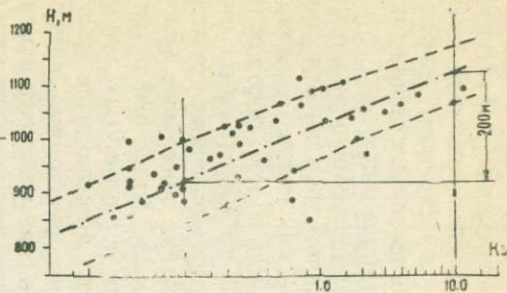
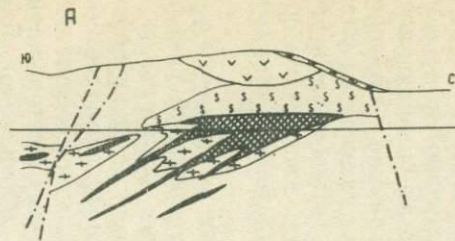
Рудные тела, как отмечалось выше, занимают в ореолах закономерное положение — они находятся в зонах с наиболее полным комплексом элементов. В случае пространственного разобщения рудных тел различного состава в пределах месторождения, по ореолам однозначно устанавливается, что рудные тела по существу являются звеньями единой зональной колонны колчеданного оруденения, которая в полном виде непрерывно прослеживается только в геохимических ореолах. Серноколчеданные рудные тела располагаются в зонах интенсивных ореолов кобальта и молибдена, медноколчеданные — меди и цинка, колчеданно-полиметаллические и полиметаллические — цинка и свинца. В колчеданных рудных телах часто концентрируются только основные рудообразующие элементы (Fe, S, Cu, Zn, Pb), тогда как максимумы концентрации других элементов (Ba, Co, Mo, а иногда Pb, Ag) могут находиться вне рудных тел, в близрудных зонах ореолов, в строгом соответствии с направленной зональностью колчеданного оруденения (Маднеульское, Гайское и другие месторождения). Многие особенности проявления зональности ореолов колчеданных месторождений и локализации в них рудных тел определяются структурными условиями локализации оруденения — структурно-морфологическим типом ореола.

В связи с направленностью, асимметричностью зональности ореолов колчеданных месторождений в качестве составляющих элементов объемной зональности ореолов следует различать поперечную зональность (вкрест рудовмещающих структур) и продольную (вдоль рудовмещающих структур). Оба вида зональности могут проявляться как в горизонтальных, так и в вертикальных сечениях. Наиболее отчетливо выражена поперечная зональность ореолов (вне зависимости от элементов залегания структур). Для практики поисков скрытого оруденения особое значение имеет вертикальная со-

ставляющая зональности ореолов. В зависимости от наде-ния рудовмещающих структур она может быть близка к поперечной зональности (в пологозалегающих структурах) или продольной (в крутопадающих). Особое значение имеет то обстоятельство, что вертикальная зональность ореолов колчеданных месторождений в принципе тождественна оха-рактеризованной выше направленной зональности.

Основное различие поперечной и продольной зональности ореолов, а соответственно и вертикальной зональности орео-лов различных структурно-морфологических типов заключае-ся в различной протяженности зональных колонн ореолов (от тыловых молибденово-кобальтовых зон до фронтальных цин-ково-свинцовых с барием). Вкрест рудовмещающих структур она составляет обычно 200—300 м (сжатые зональные колон-ны ореолов), в продольном направлении — более 500 м (рас-тянутые колонны). Разделение сжатых и растянутых колонн ореолов на данной стадии изученности производится доста-точно условно. Для их характеристики необходимо привле-кать такой количественный показатель, как градиент измене-ния K_3 (фиг. 5). Как особую характеристику зональности ореолов, имеющую большое практическое значение, но пока еще слабо изученную, необходимо отметить ее периодичность. Она проявляется в том, что на фоне общего закономерно на-правленного изменения состава ореолов наблюдается неод-нократное повторение полей (зон) сходного элементного со-става, а количественные показатели зональности (парные со-отношения содержаний элементов, K_3 изменяются не моно-тонно, а скачкообразно, подчиняясь правилу периодичности, ритмичности. Протяженность отдельных ритмов изменяется от первых десятков метров до 100—150 м; намечается умень-шение протяженности ритмов от нижних, тыловых зон к верх-ним, фронтальным. Ритмичность усложняет зональность орео-лов и обуславливает необходимость выделения зональных колонн различного порядка.

Рассмотренные особенности проявления зональности орео-лов метасоматических колчеданных месторождений указыва-ют на ее сложную зависимость от многих факторов, из ко-торых главными являются геолого-структурные условия фор-мирования ореолов. Но если взять за основу наиболее обоб-щающее выражение геохимической зональности—зональные ряды элементов, то для ореолов колчеданных месторождений устанавливается однотипная зональность (Овчинников, Баранов, 1970; Баранов, 1971₁).



В табл. 2 приведены ряды направленной (от тыловых зон к фронтальным, в основном вертикальной) зональности ореолов 37 колчеданных месторождений и рудопроявлений Урала, Рудного Алтая и Закавказья. Ряды составлялись по положению зон максимальных или относительных концентраций элементов в исследуемом разрезе. При совмещении зон максимальных концентраций элементов их относительная дифференциация в разрезе четко устанавливается по изменению соотношений содержаний пар элементов. С целью погашения осложняющего влияния ритмичности в ряде случаев расчеты параметров для установления рядов зональности велись по укрупненным интервалам (до 100—150 м). В случае нечеткого, неоднозначного разделения элементов они включаются в одну группу. Для некоторых элементов иногда в исследуемом сечении ореола устанавливается два абсолютных или относительных максимума, что определяет их двойственное положение в ряду.

Данные табл. 2 позволили составить обобщенные зональные ряды элементов для различных минеральных типов колчеданных месторождений (табл. 3). Эти ряды имеют вероятностный характер, вероятность нахождения элемента в данной ячейке ряда рассматривалась по положению молибдена, меди, цинка, свинца и бария относительно кобальта, а других элементов — по отношению к первым. Нахождение соседних элементов обобщенного ряда в частных рядах в одной группе оценивалось как соответствующее обобщенному ряду.

Обобщенные ряды зональности ореолов различных минеральных типов колчеданных месторождений практически идентичны по положению кобальта, меди, цинка, кадмия, свинца, серебра и бария и несколько отличаются положением молибдена и мышьяка, которые перемещаются в соседние

Фиг. 5. Схематические вертикальные геологические разрезы Маднеульского месторождения (А) и Цителсопельского, Квемо-Болнисского месторождений, Мушеванского рудопроявления (Б) и совмещенные графики изменения K_3 и их ореолов по вертикали (Н — абсолютные отметки в м)

1—рыхлые отложения; 2—вулканогенно-осадочные породы; 3—альбитофиры; 4—дациты; 5, 6—вторичные кварциты: 5—низкотемпературные сольфатарные, 6—высокотемпературные глубинные; 7—разрывные нарушения; 8, 9—рудные тела: 8—барит-полиметаллические, 9—медноколчеданные; 10— K_3 (среднее по 5—10 пробам)

Ряды направленной зональности элементов
в эндогенных геохимических ореолах колчеданных месторождений

Регион	Месторождение	Минеральный тип оруденения	Ряды зональности: от тыловых зон к фронтальным
Урал	Валенторское	Медноколчеданный	Mo—Co—Zn—Cu—Pb—Ba
	Красногвардейское	»	Mo—Sn, Co—Cu, Zn—Pb, Ag—Ba
	Заводское	»	Mo—Co—Bi, Cu—Zn—Pb, Ag
	Ново-Андреевское	»	Mo, Co, Bi—Cu—Zn—Pb, Ag, Ba
	Андреевское	Серноколчеданный	Mo—Cu, As—Zn—Pb, Ba
	Ново-Шайтанское	Медноколчеданный	Mo—Cu, As—Zn—Pb, Ba
	Зюзельское	Серноколчеданный	Mo—Co—Cu—Zn, Pb
	Озерное	Медноколчеданный	Mo—Co—Bi—Cu—Mo—As—Zn—Ag, Ge, Pb, Ba
	Новое	»	Co—Mo—Zn—Cu, As, Pb—Ba
	Узельгинское	»	Mo—Co—Cu—Zn, As—Pb, Ag—Ba
	Молодежное	»	Mo—Co—Cu—Zn—Pb—Ba
	Александровское	Колчеданно-полиметаллический	Mo—Co, As, Bi—Cu—Zn—Pb, Ag—Ba
	Сабановское	Серноколчеданный	Mo—Co, Cu—Zn—Pb, Ba
	Гайское	Медноколчеданный	Mo—Co—Cu—Zn—As—Pb, Ag—Ba—Hg—J
Орское (рудопроявление)	»	Co—Cu—Zn—Pb	
Джусинское	Колчеданно-полиметаллический	Mo—Co—Cu—Zn—Ag—Pb—Ba	
Рудный Алтай	Золотушинское	Колчеданно-полиметаллический	Sn—Mo—Co, Ni, Au—Bi, As, Cu—Zn Cd—Pb, Ag—Ba
	Ново-Золотушинское	»	Sn, Mo—Ni, Co—As, Bi, Cu—Zn, Cd—Pb, Ag
	Майское	»	Mo—Co, Ni—Cu, Bi—Zn, Cd—Pb, Ag
	Орловское	»	Co, Mo—Cu—Zn—Pb—Ag—Ba—Hg

Регион	Месторождение	Минеральный тип оруденения	Ряды зональности: от тыловых зон к фронтальным
	Степное	Полиметаллический	Co, Ni—As, Ba, Mo—Au, Cu, Bi—Zn, Cd, Mo—As, Pb, Ag—Ba
	Таловское	»	Co, Mo—Cu, Bi—Zn, Cd—Pb—Ag, As—Ba, Sr
	Корбалихинское	Колчеданно-полиметаллический	Mo, Co, Cu, Bi—Zn, Cd—Pb, Ag, As—Ba
	Петровское	Барит-полиметаллический	Co, As—Mo—Cu, Bi, Au—Mo, Zn, Cd—Pb, Ag—Cu, As, Au—Ba
	Заречное	»	Sn, Ni, Mo, Co—Bi, As, Au, Cu—Mo, Zn, Cd—Cu, Au, As—Pb, Ag—Ba
	Ленинградское	Полиметаллический	Mo—Co, Au, Bi—Cu—Zn, Cd—Pb, Ag, Ge—Ba
Закавказье	Маднеульское	Медно-колчеданный, барит-полиметаллический	Co—Cu—Mo—Zn—Pb, As, Ag—Ba
	Квемо-Болнисское	Медноколчеданный	Co, Mo—Cu, Zn, Pb
	Цителсопельское	»	Co—Mo—Cu—Zn—Pb—Ba
	Давид-Гареджское	Барит-полиметаллический	
	Баличское (рудоправление)	Медноколчеданный	Ba—Co, Mo—Cu—Zn—Pb, Ba
	Абульмульское (рудопоявление)	»	
	Шамлугское	»	As, Co—Cu—Mo—Zn—Pb, Ba, As—J
	Алавердское	»	Co, Mo, As—Cu—Zn, Pb
Ахтальское	Барит-полиметаллический	Mo—Co—Cu—Zn—Pb—As—Ba—J	
Карнутское	Медноколчеданный	Co—Cu—Mo—Zn—Pb—Ba	
Филизчайское	Колчеданно-полиметаллический	Co, As—Cu—Zn, Pb, Ba	

Обобщенные ряды зональности элементов
в эндогенных геохимических ореолах
различных типов колчеданных месторождений

Месторождения	Кол-во месторождений	Ряды зональности тыловые зоны (низ) фронтальные зоны (верх)
Серноколчеданные	3	Mo—Co—Cu—Zn—Pb, As, Ba
Медноколчеданные	19	Mo ₂ —Co, (Sn)—(Bi)—Cu—Mo ₂ —Zn—As—Pb, Ag—Ba— —(Hg)—(J)
Колчеданно-полиметаллические и полиметаллические	11	Mo, (Sn)—Co, (Ni)—As, (Au)—Bi, Cu—Zn, Cd—Pb, Ag(Ge)—Ba—(Sr)—(Hg)—(J)
Барит-полиметаллические	5	Co, (Sn, Ni)—Mo ₂ —Cu, Bi, Au ₁ —Mo ₂ , Zn, Cd—Pb, Ag—Cu ₂ As, Au ₂ —Ba—(J)

Примечание. В скобках заключены элементы, ореолы которых изучены на единичных месторождениях.

ячейки ряда. Более существенны различия рядов по набору элементов-индикаторов, которые, наряду с ограниченностью круга изученных элементов в ореолах отдельных месторождений, отражают и специфику состава ореолов различных минеральных типов колчеданного оруденения.

Близость полученных рядов зональности дает основание для составления единого обобщенного ряда зональности эндогенных геохимических ореолов колчеданных месторождений (в направлении от тыловых зон к фронтальным):

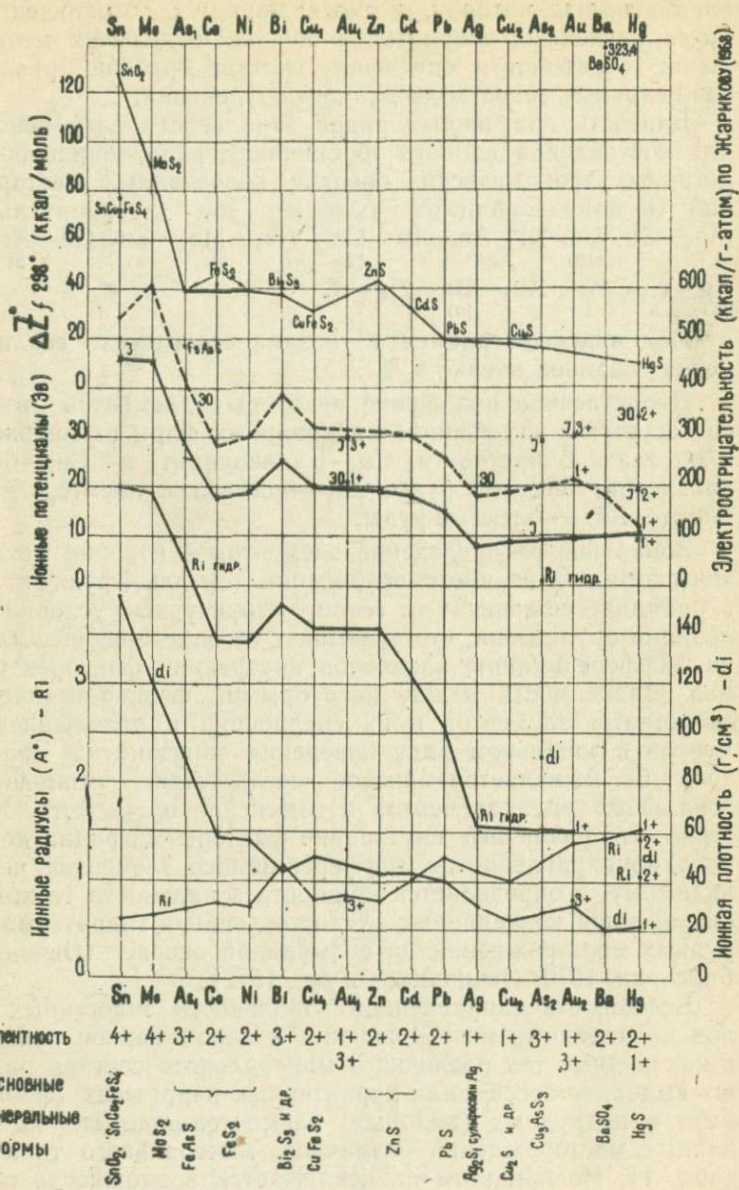
$$\begin{array}{cccccccccccc} \text{Mo}_1 & \text{—} & \text{Sn} & , & \text{Co} & , & \text{Ni} & \text{—} & \text{As}_1 & \text{—} & \text{Bi} & \text{—} & \text{Cu}_1 & , & \text{Au}_1 & \text{—} & \text{Mo}_2 & \text{—} & \text{Zn} & , & \text{Cd} & \text{—} & \text{As}_2 & \text{—} & \text{Pb} & , \\ 80 & & 100 & & & & 43 & & & & 32 & & & & 80 & & 95 & & & & 24 & & 100 \\ \text{Ag} & \text{—} & \text{Cu}_2 & , & \text{As}_3 & , & \text{Au}_2 & \text{—} & \text{Ba} & \text{—} & \text{Hg} & \text{—} & \text{J} & . \\ 100 & & 5 & & 24 & & & & 100 & & & & & & & & & & & & & & & & & & & \end{array}$$

Под индексом элемента указана вероятность его нахождения в данной ячейке в %.

Двойственное положение некоторых элементов в ряду согласуется с изменением минеральных форм их нахождения в ореолах. В частности, Cu_1 —халькопирит, а Cu_2 —борнит, халькозин, блеклые руды, As_1 —примеси в пирите, арсенопирите, $\text{As}_{2,3}$ —блеклые руды.

Зональное распределение элементов в колонне метасоматического колчеданного оруденения (ореолы + рудные тела) в принципе не зависит от геолого-структурных условий локализации оруденения, что указывает на определяющее влияние на дифференциацию элементов, внутренних факторов миграции. Зависимость между некоторыми физико-химическими свойствами элементов и их соединений и положением элементов в зональном ряду поведения показана на графиках (фиг. 6). Выявляется близкое соответствие эмпирического зонального ряда элементов и изменения их свойств. Характерно, что различные внутренние факторы миграции действуют однонаправленно на дифференциацию элементов, чем, по-видимому, и определяется общность зональности геохимических ореолов колчеданных месторождений и гидротермальных рудных месторождений на сульфидной основе (Овчинников, Григорян, 1970; Овчинников и др., 1972).

Всеобщность направленной зональности эндогенных ореолов колчеданных месторождений и закономерное положение в них рудных тел различного минерального состава позволяют выделить ассоциации характерных надрудных (фронтальных) и подрудных (тыловых) элементов-индикаторов колчеданных месторождений различного минерального типа (см. табл. 1). Но при этом не исключается возможность некото-



рого «перекрытия» надрудных и подрудных зон ореолов месторождений различного типа. Поэтому необходимо учитывать зависимость особенностей проявления зональности ореолов от типа колчеданных месторождений. Зональность ореолов в полном виде—от молибденово-кобальтовых до свинцово-бариевых зон — обычно проявлена на месторождениях с пространственно разобщенными рудными телами различного состава (Маднеульское, Гайское, Золотушинское, Ленингорское и др.). На собственно серноколчеданных месторождениях (Андреевском, Зюзельском, Сабановском) широко и интенсивно развиты ореолы кобальта и молибдена, а резко ограничено—ореолы цинка и свинца. В ореолах полиметаллических и барит-полиметаллических месторождений (Степное, Зырянское, Петровское, Заречное) наблюдается обратная картина: широкое и интенсивное развитие ореолов фронтальных элементов-индикаторов—цинка, свинца, серебра и бария и в редуцированном виде—ореолов кобальта и молибдена.

Распределение элементов в экзогенных ореолах определяется двумя основными факторами: зональным распределением элементов в исходных эндогенных ореолах на уровне эрозионной поверхности и гипергенной зональностью элементов, определяемой лито-генетическим и геохимическим типом рыхлых образований. В остаточных элювиально-делювиальных отложениях, как уже отмечалось, сохраняется элементный состав эндогенных ореолов, а количественные соотношения элементов, хотя и изменяются в результате гипергенных процессов, но коррелируют с таковыми в эндогенных ореолах. Как установлено на примере Маднеульско-Поладаурской рудной зоны (Баранов и др., 1971₃) степень корреляции экзогенных ореолов с эндогенными варьирует в зависимости от местных ландшафтных условий и уменьшается с увеличением мощности элювиально-делювиальных отложений. В корах выветривания в результате длительной и интенсивной переработки эндогенных ореолов происходит значительное перераспределение элементов, существовавшие в эндогенных ореолах связи элементов резко нарушаются. Распределение аномальных концентраций элементов-индикаторов в корах выветрива-

Фиг. 6. Графики зависимости между физико-химическими свойствами элементов и их положением в зональном ряду колчеданного оруденения

ния и в аллохтонных отложениях подчиняется гипергенной зональности, обнаруживая тесную связь с формами их нахождения (Лазарев, 1972; Сает и др., 1972).

Связи параметров ореолов и рудных тел. Основными параметрами геохимических ореолов, несущими информацию о составе и масштабах рудных тел, являются состав ореолов, их размеры и особенности строения (степень прерывистости, дифференцированности). На колчеданных месторождениях устанавливается определенная, но более сложная, чем на гидротермальных рудных месторождениях (Григорян, Янишевский, 1968), зависимость между параметрами эндогенных ореолов и рудных тел. Последнее обусловлено, по-видимому, тем, что в условиях колчеданных месторождений, учитывая закономерное положение рудных тел в однонаправленной зональной колонне ореола, по- существу нельзя рассматривать ореолы в качестве образований около рудных тел, а наоборот, рудные тела следует рассматривать как ураганно высокие аномальные концентрации рудного вещества, возникшие в зоне рассеянной рудной минерализации—в ореоле.

Тесная взаимосвязь составов ореолов и колчеданных рудных тел выражается прежде всего в выделении типоморфных (для определенных типов колчеданного оруденения) ассоциаций основных элементов-индикаторов (см. табл. 1). Основные рудообразующие элементы обычно образуют наиболее крупные по размерам ореолы. Однако эта простая зависимость часто нарушается вследствие зонального строения ореолов, которое может приводить к значительному отличию элементного состава внешних надрудных зон ореолов от состава рудных тел. Так, в надрудных ореолах Озерного медно-колчеданного месторождения (Южный Урал) медь находится в низкоаномальных концентрациях и образует локальные поля, а свинец и барий, практически не концентрирующиеся в рудах, образуют широкие и интенсивные ореолы. Связь составов ореолов и рудных тел более тесно проявляется в количественных соотношениях элементов в пределах полей комплексного состава, вмещающих рудные тела. Связь размеров ореолов с параметрами рудных тел проявляется прежде всего в том, что ореолы рудопроявлений по размерам (в плане и в вертикальных сечениях) обычно резко уступают ореолам промышленных месторождений. Но зависимость размеров ореолов колчеданных месторождений от многих факторов: масштабов и строения рудовмещающих структур, структурно-морфологического типа ореола, продуктивности рудообразую-

щих процессов и текстурного типа оруденения осложняет эту связь, и она проявляется только в самом общем виде.

На колчеданных месторождениях часто отсутствует прямая связь между размерами ореолов отдельных элементов и уровнем их концентрации в рудах, так как в ряде случаев рудные тела являются центрами только ореолов меди и цинка, а максимальные концентрации других рудных элементов (Pb, Ag, Ba, Co, Mo) находятся вне рудных тел (Гайское, Озерное, Маднеульское и другие месторождения).

Ореолы в контуре наиболее широко рассеянных элементов обычно охватывают большую часть объема рудовмещающих структур. Их размеры отражают масштабы проявления рудной минерализации, но не связаны прямо с размерами промышленных рудных тел. С последними коррелируют размеры комплексных ореолов (в контуре основных рудообразующих элементов). Для открытых ореолов в пологозалегающих структурах наблюдается прямая зависимость площадных размеров комплексных надрудных ореолов от размеров рудных тел. Определяющее влияние геолого-структурных условий локализации колчеданного оруденения на размеры надрудных ореолов ограничивает проявление рассматриваемой зависимости рамками определенных структурно-морфологических типов ореолов. Резко различаются по размерам надрудные открытые и экранированные ореолы близких по масштабам рудных тел (месторождений). Так, в Молодежном рудном районе (Южный Урал) надрудные ореолы крупного Узельгинского медноколчеданного месторождения, залегающего в экранированной структуре, по площадным размерам близки, а по другим параметрам (комплексу и концентрации элементов) резко уступают надрудным ореолам более мелкого Озерного месторождения, локализованного в открытой сквозной структуре.

Осложняющее влияние текстурного типа колчеданного оруденения проявляется в том, что ореолы, вмещающие прожилково-вкрапленные рудные тела с низкими содержаниями рудных компонентов, имеют, как правило, гораздо большие размеры, чем ореолы, вмещающие массивные рудные тела с высокими содержаниями рудных компонентов.

Связи особенностей строения ореолов с масштабами оруденения проявляются в следующем. Для ореолов промышленных рудных тел характерно сплошное совмещенное распределение элементов, тогда как ореолы с прерывистым, резко дифференцированным распределением элементов сопровож-

дают убогие непромышленные рудные концентрации. Резкая прерывистость строения ореолов, когда аномальные поля чередуются с фоновыми, обедненность их элементного состава (неполнота комплекса элементов-индикаторов) и резко дифференцированная зональность общего ореола—все это (с некоторыми ограничениями) может рассматриваться как характерные черты «безрудных» геохимических ореолов. Ограниченность данного положения выражается в том, что аналогичное строение устанавливается и в надрудных зонах экранированных ореолов промышленных месторождений.

Рассмотренные особенности взаимосвязи параметров ореолов и рудных тел проявляются в экзогенных ореолах только при условии тесной корреляции их параметров с параметрами исходных эндогенных ореолов. Последняя, как отмечалось, устанавливается для остаточных алювиально-делювиальных ореолов и отсутствует для эпигенетических ореолов в корях выветривания и аллохтонных отложениях.

Геохимические критерии, используемые при поисках скрытых колчеданных месторождений

Рассмотренные выше особенности состава, морфологии и строения эндогенных геохимических ореолов являются общими для колчеданных месторождений Урала, Рудного Алтая и Кавказа. Эта общность указывает на возможность принципиально единого методического подхода к геохимическим поискам колчеданного оруденения в различных рудных провинциях Советского Союза и соответственно позволяет установить общие геохимические критерии, которые могут быть использованы при поисках скрытого колчеданного оруденения.

Общие геохимические критерии объединяют критерии, используемые при интерпретации рудогенных геохимических аномалий (ореолов)—определение типа рудной минерализации, обусловившей образование ореола, и критерии, используемые при определении уровня пересечения (эрозионного среза) ореола, возможной глубины залегания и масштабов скрытых рудных тел. При поисках скрытого колчеданного оруденения первостепенное значение имеют геохимические критерии, которые основываются на особенностях эндогенных ореолов этого типа оруденения. Все эти критерии подробно рассматриваются ниже.

Интерпретация геохимических аномалий. Комплексный состав геохимической аномалии, наличие в ее составе, наряду

с медью, цинком и свинцом, серебра, бария, мышьяка, молибдена и кобальта указывают на возможность ее связи с колчеданным оруденением. Близкий элементный состав имеют ореолы медных и полиметаллических месторождений иных генетических групп и классов (медно-порфириновых, медно-скарновых, скарново-полиметаллических, жильных полиметаллических). Но эти ореолы характеризуются другими соотношениями концентраций элементов и проявляются в иных геолого-структурных условиях. К тому же, колчеданоносные рудные районы выделяются моноформационностью металлогении. Все это резко облегчает задачу интерпретации геохимических аномалий, связанных с колчеданным оруденением.

Более сложной задачей является разделение ореолов, обусловленных колчеданной минерализацией различного минерального типа. Взаимопереходы между различными типами колчеданного оруденения в пределах одного месторождения и зональное строение ореолов существенно нивелируют различие составов ореолов различных типов колчеданного оруденения, которое контрастно проявляется на уровне рудных тел (см. табл. I—типоморфные ассоциации основных элементов-индикаторов). Осложняющее влияние зонального строения ореолов проявляется в том, что ореол «полиметаллического» типа может соответствовать скрытым медноколчеданным телам, а ореол кобальтово-молибденового состава— выше расположенному (эродированному) медноколчеданному рудному телу.

В связи с тем, что основные рудообразующие элементы обычно образуют наиболее крупные по размерам ореолы, в принципе возможно определение типа колчеданного оруденения по составу внешних зон ореолов. Но этот простой метод интерпретации геохимических аномалий осложняется многочисленными отступлениями от данной закономерности по причине значительного отличия состава наиболее удаленных внешних надрудных зон ореолов от состава рудных тел, вплоть до отсутствия основных рудообразующих элементов в этих зонах (месторождения Озерное, Узельгинское, Молодежное и другие). Поэтому надежная интерпретация ореола в отношении типа колчеданного оруденения может быть сделана только во взаимосвязи с оценкой уровня пересечения ореола.

Оценка уровня пересечения ореола. Геохимическими показателями уровня пересечения ореола, в частном случае эрозийного среза, являются элементный состав ореола и соот-

ношения концентраций элементов. Характерные элементы-индикаторы надрудных (фронтальных) и подрудных (тыловых) зон ореолов колчеданных месторождений приведены в табл. 1. Из основных элементов-индикаторов надрудными для всех типов колчеданного оруденения являются свинец, серебро и барий, а подрудными—кобальт и молибден. Индикационная роль меди изменяется в зависимости от типа колчеданного оруденения: в ореолах серноколчеданных проявлений она является надрудным, а в ореолах колчеданно-полиметаллических, полиметаллических и барит-полиметаллических проявлений—подрудным элементом-индикатором. Цинк, являясь, в общем, характерным элементом-индикатором ореолов колчеданного оруденения, в ореолах полиметаллических и барит-полиметаллических месторождений имеет сквозное распространение. Устойчивым количественным показателем уровня пересечения ореола в практике изучения эндогенных ореолов колчеданных месторождений является коэффициент зональности K_3 (см. табл. 1).

Рассматривая критерии оценки уровня ореола, необходимо иметь в виду их вероятностно-статистическую природу. В частности, следует учитывать близость состава надрудных зон ореолов серноколчеданных и медноколчеданных рудных тел с подрудными (близрудными) зонами ореолов полиметаллических и барит-полиметаллических тел. Другим осложняющим фактором является ритмичность зональности ореолов. Поэтому оценка уровня ореола более надежна в случае наличия двух и более пересечений в вертикальном разрезе (например, поверхность—скважина, горная выработка). Анализ характера изменения параметров ореола (элементного состава, концентраций элементов и их соотношений, размеров ореола) позволяет почти безошибочно определить положение предполагаемого рудного тела относительно изучаемого уровня. Особенно эффективна оценка выклинивания рудных тел на глубину: появление интенсивных ореолов молибдена, кобальта при выклинивании ореолов бария, свинца и цинка однозначно указывает на выклинивание рудных тел на глубину. При наличии на глубине новых рудных тел (в случае многоэтажности колчеданного оруденения) ореолы цинка, свинца и бария продолжают кнizu от верхних рудных тел, на уровне интенсивных ореолов молибдена и кобальта (Гайское, Узельгинское месторождения на Южном Урале).

Оценка глубины залегания скрытых рудных тел. Положение рудных тел в плане относительно надрудного ореола оп-

ределяется рудоподводящими и рудовмещающими структурами. Надрудные ореолы, как правило, не совпадают пространственно с проекцией скрытых рудных тел на дневную поверхность и смещены относительно их в соответствии с залеганием ореоловыводящих структур. В связи с большой вертикальной протяженностью надрудных ореолов (более 300 м, до 1 км), пространственный разрыв между выходом ореолов на поверхность рудовмещающих пород может достигать первых сотен метров. В случае экранированных ореолов на уровне эрозионной поверхности ореолы могут проявляться вдоль крутопадающих нарушений, ограничивающих рудовмещающие блоки, а глубоко залегающие рудные тела будут проектироваться между выходами линейно вытянутых ореолов. Это лишь один из вариантов пространственных соотношений рудных тел и надрудных ореолов, но и он достаточно наглядно показывает решающее значение анализа структуры оцениваемого участка и возможного структурно-морфологического типа ореола для оптимального решения задачи определения положения скрытых рудных тел относительно перспективного надрудного ореола.

Глубинность геохимического метода поисков метасоматических колчеданных месторождений по эндогенным ореолам превышает 200—300 м и может достигать 1 км. Поэтому принадлежность оцениваемого ореола к надрудным далеко не определяет его перспективы, так как большая вертикальная протяженность надрудных ореолов резко увеличивает объем блока, в котором возможно наличие скрытых рудных тел. Отсюда вытекает задача прогноза возможной глубины залегания скрытых рудных тел.

Геохимические показатели глубины залегания рудных тел определяются закономерным положением рудных тел различного состава в зональной колонне общего ореола и степенью пространственной дифференциации элементов в общем ореоле. Последняя, как показано выше, во многом зависит от структурных условий локализации оруденения и проявляется в возникновении сжатых и растянутых колонн ореолов. Влияние структурных условий локализации оруденения проявляется также в различной протяженности ореолов комплексного состава (внутренних зон общего ореола) над рудными телами в полого- и крутопадающих структурах: в первых—до 200—300 м, во вторых—до 500 м. Отсюда очевидно, что надежное определение глубины залегания скрытых рудных тел требует также знания возможного структурно-морфологического

типа оцениваемого ореола. В условиях хорошо изученных рудных районов при наличии в их разрезе определенных рудоконтролирующих горизонтов глубина залегания рудных тел может быть надежно определена по геологическим данным.

Наиболее общий принцип оценки глубины залегания скрытых рудных тел по составу ореолов основан на следующих соображениях. Комплексный состав надрудных ореолов свидетельствует об относительной близости рудных тел, тогда как геохимические аномалии биметального (Cu—Zn или Zn—Pb) или монометального состава могут быть индикаторами глубоко залегающих рудных тел. Последние, кроме того, фиксируют и многочисленные мелкие проявления колчеданной минерализации, не представляющие практического интереса.

Оптимальным для решения рассматриваемой задачи является наличие двух и более пересечений ореола в вертикальном разрезе. Усложнение элементного состава ореолов, возрастание их интенсивности с глубиной указывает на приближение к предполагаемому рудному телу, а по величине градиента показателей зональности надежно устанавливается вид зональной колонны ореола (сжатой или растянутой) и глубина залегания рудного тела.

Оценка масштабов оруденения. Несмотря на логическую очевидность тезиса о зависимости между параметрами ореолов и параметрами рудных тел, влияние геологических и геохимических факторов сильно осложняет эти связи. Размеры надрудных ореолов во многом определяются структурно-морфологическим типом ореола и обычно не обнаруживают прямой зависимости от размеров рудных тел. Более тесно с размерами рудных тел связаны размеры комплексных ореолов. В условиях сквозных и слабо экранированных структур возможная площадь распространения скрытых рудных тел на глубинах до 200—300 м может определяться размерами комплексного ореола (в контуре совмещения ореолов меди, цинка, свинца и других).

Полученные данные указывают на принципиальную возможность разделения ореолов, связанных с промышленными колчеданными месторождениями, и ореолов, сопровождающих непромышленные рудопроявления, по комплексу элементов-индикаторов и по особенностям их распределения в ореоле. В связи с комплексными ореолами, в состав которых входят все основные элементы-индикаторы, более вероятно выявление промышленных рудных тел, чем с ореолами обедненного элементного состава. Аномалии биметального (Cu—Zn или Zn—

Рb) и монометального состава фиксируют самые незначительные проявления колчеданной минерализации, широко распространенные в рудных районах. Но вместе с тем они могут соответствовать и наиболее удаленным внешним зонам надрудных ореолов залегающих рудных тел. Однозначна отрицательная оценка геохимических аномалий кобальтово-молибденового состава, даже при локальном проявлении в них аномальных концентраций других элементов-индикаторов.

Характерной особенностью ореолов некоторых промышленных колчеданных рудопроявлений является их прерывистое строение и резкая пространственная дифференциация элементов, вплоть до полной разобщенности полей отдельных элементов, в пределах рудовмещающих структур.

Само собой разумеется, что прогнозирование возможных масштабов скрытого оруденения, как и решение других задач оценки геохимических ореолов, должно проводиться в тесной взаимосвязи с геологическими предпосылками.

Установленные геохимические критерии применимы в основном к оценке геохимических ореолов, связанных с гидротермально-метасоматическим колчеданным оруденением, к которому относится подавляющее большинство колчеданных месторождений Советского Союза. Ореолы колчеданных месторождений вулканогенно-осадочного типа аналогичны по составу ореолам гидротермально-метасоматических месторождений, но существенно отличаются от них по морфологии и строению. Для них характерно отсутствие или локальное проявление ореолов в надрудных толщах пород. Поэтому должны существенно отличаться и критерии оценки ореолов вулканогенно-осадочного типа. Слабая изученность этих ореолов затрудняет в настоящее время анализ особенностей геохимических поисков скрытых вулканогенно-осадочных колчеданных месторождений.

Необходимо отметить сложность интерпретации и оценки геохимических ореолов гетерогенных колчеданных месторождений. В их составе присутствуют элементы, нехарактерные для колчеданного оруденения, которые могут образовывать секущие зоны по отношению к ореолам колчеданного типа (Бельков и др., 1972). В ореолах гетерогенных месторождений часто проявлены отступления от стандартной зональности ореолов колчеданного типа.

Таким образом, на основании выявленных закономерностей состава, морфологии, размеров и строения ореолов колчеданных месторождений установлены следующие основные

геохимические критерии поисков колчеданного оруденения по эндогенным ореолам.

1. Состав ореолов указывает на возможный тип колчеданного оруденения. Молибденово-кобальтовый состав характерен для серноколчеданных проявлений, широкое и интенсивное развитие в ореолах меди и цинка при наличии кобальта и молибдена указывает на медноколчеданный тип минерализации, интенсивное развитие цинка, свинца, серебра и бария при подчиненной роли кобальта—на колчеданно-полиметаллический, полиметаллический и барит-полиметаллический тип. Интерпретация типа оруденения осложняется нивелированием состава надрудных зон ореолов колчеданных проявлений различного типа.

2. Глубинность обнаружения скрытых рудных тел по эндогенным геохимическим ореолам во многом определяется генетическим типом колчеданного оруденения. Для метасоматических рудных тел она превышает 200—300 м, достигая 1 км. Для вулканогенно-осадочных рудных тел, учитывая возможность возникновения вторичных эндогенных ореолов, она составляет первые десятки—сотни метров.

В районах с метасоматическим оруденением выявление ореолов на уровне эрозионной поверхности позволяет в пределах рудных районов выделять локальные рудоносные участки с проявлениями колчеданного оруденения до глубины 200—300 м, в благоприятных структурных условиях до 1 км, среди площадей, лишенных рудной минерализации на таких глубинах.

3. Уровень эрозионного среза (или пересечения его выработками) оценивается по его составу—по комплексу элементов и соотношениям их концентраций (по величине коэффициента зональности). Прямыми поисковыми признаками скрытого колчеданного оруденения являются геохимические аномалии (ореолы) надрудных элементов-индикаторов ($Zn, Pb, Ag, Ba, K \geq 2$). На подрудный срез ореолов указывает молибденово-кобальтовый (с медью и цинком) состав и $K_3 \leq 0,5$.

4. Возможная глубина залегания скрытых метасоматических рудных тел определяется по составу ореола с учетом его структурной позиции (сквозные и экранированные структуры), положения экранирующих горизонтов, поверхностей) и типа вертикальной зональной колонны ореола (сжатой или растянутой). Комплексные геохимические аномалии (ореолы) надрудных элементов-индикаторов ($Zn, Pb, Ag,$

Ва) являются признаками скрытых рудных тел на глубинах до 200—300 м в пологопадающих структурах и до 500 м в крутопадающих структурах. Би- и моноэлементные аномалии надрудных элементов-индикаторов (Zn, Pb, Ag, Ва) могут быть индикаторами более глубокозалегающих рудных тел.

5. Показателями возможных промышленных масштабов скрытого оруденения являются особенности состава, строения и размеры надрудных ореолов. Ореолы комплексного состава, содержащие основные элементы-индикаторы колчеданного оруденения, при сплошном совмещенном распределении элементов в них более перспективны в отношении промышленного оруденения, чем ореолы обедненного состава, с неполным комплексом основных элементов-индикаторов и с прерывистым дифференцированным распределением элементов в них. На возможные размеры скрытых рудных тел (в плане) в условиях открытых и слабо экранированных структур указывают площадные размеры надрудных комплексных ореолов (при залегании рудных тел на глубинах до 200—300 м).

Само собой разумеется, что использование геохимических критериев в отрыве от геологических данных бессмысленно и должно проводиться в тесной увязке с геологическими условиями локализации колчеданных рудных тел.

Геохимические критерии поисков скрытого колчеданного оруденения по экзогенным ореолам вытекают из рассмотренных выше критериев по эндогенным ореолам и в принципе определяются пространственными и генетическими связями экзогенных ореолов с эндогенными. Как показано выше, экзогенные ореолы наследуют качественный (элементный) состав исходных эндогенных, но гипергенные процессы перераспределения и рассеяния элементов обуславливают существенные изменения в них соотношений элементов. Большое влияние на характер и силу связей экзогенных ореолов с исходными эндогенными оказывают ландшафтно-геохимические условия рудных районов, в особенности тип и мощность перекрывающих рыхлых отложений. Поэтому геохимические критерии поисков по экзогенным ореолам значительно варьируют в зависимости от конкретных ландшафтно-геохимических условий проявления экзогенных геохимических аномалий.

В условиях ортоэлювиальных ландшафтов, как было установлено и апробировано в результате работ в Юго-Восточной Грузии (Пурик и др., 1968; Баранов и др., 1972₄), экзогенные геохимические аномалии пространственно наследуют

исходные эндогенные ореолы, по их параметрам возможна интерпретация типа оруденения и даже оценка эрозионного среза эндогенного ореола.

В условиях неоэлювиальных ландшафтов возможности поверхностных геохимических поисков ограничены. Критическая мощность аллохтонных рыхлых отложений при использовании спектрального анализа обычно не превышает 10 м, но в условиях формирования специфических карстовых депрессий над выходами колчеданных рудных тел и зон сульфидной вкрапленности она достигает 30—50 м. Критерием разбраковки геохимических аномалий, позволяющим выделять рудогенные аномалии (ореолы), связанные с выходами на поверхность коренных пород рудных тел или эндогенных ореолов, является комплексность их состава и относительно высокая интенсивность. Определение типа рудной минерализации в этих условиях можно проводить по параметрам ореола в коре выветривания, но оценка уровня эрозионного среза ореола возможна только по параметрам эндогенного ореола.

Разработанные критерии интерпретации и оценки геохимических аномалий в коренных породах позволяют разделить их по минеральному типу колчеданного оруденения, по уровню эрозионного среза (надрудные, со вскрытым оруденением, подрудные), а с учетом предполагаемого структурно-морфологического типа ореола—и по возможным масштабам скрытого оруденения. Особо выделяются аномалии комплекса надрудных элементов-индикаторов, которые являются наиболее надежными признаками скрытого оруденения. Все это обуславливает необходимость составления геохимических основ прогнозно-металлогенических карт, которые должны быть обязательным элементом прогнозно-металлогенических исследований рудных районов (Баранов и др., 1971₂; Голод и др., 1972). Геохимические основы представляют собой карты, отображающие пространственное, увязанное с геологическим строением района распределение рудогенных геохимических аномалий, типизированных в соответствии с критериями их интерпретации и оценки. Использование геохимических основ позволяет на прогнозных картах колчеданносных рудных районов выделять следующие категории площадей:

1. Площади с рудогенными геохимическими аномалиями—рудные поля, узлы и зоны, среди которых выделяются: а) площади с надрудными геохимическими ореолами, перспективные на скрытое оруденение; б) площади с подрудными геохимическими ореолами—площади эродированного оруде-

нения и в) площади с моно- и би- элементными аномалиями основных рудообразующих элементов (Cu, Zn, Pb), которые могут фиксировать глубокозалегающие (более 500 м) рудные тела или соответствовать зонам рассеянной рудной минерализации.

2. Площади без рудогенных геохимических аномалий, перспективные на скрытое оруденение на глубинах до 300—500 м.

Примеры геохимических поисков скрытых колчеданных месторождений

Наряду с методическими разработками авторами проводились геохимические поиски скрытого колчеданного оруденения в рудных районах Закавказья, Урала и Рудного Алтая. Эти работы имели опытно-производственную направленность и проводились с целью апробации разрабатываемой методики, ее совершенствования, определения ее эффективности и оперативного внедрения в практику поисково-разведочных работ. Хотя проверка выданных производственным организациям рекомендаций на скрытое оруденение проведена к настоящему времени только в единичных случаях, имеются примеры открытия с ее помощью скрытых рудных тел.

Маднеульско-Поладаурская рудная зона, Юго-Восточная Грузия. В результате опытно-методических работ, проведенных на Маднеульском и других месторождениях Юго-Восточной Грузии, было установлено, что в ландшафтно-геохимических условиях этого района основным методом поверхностных геохимических поисков скрытого оруденения могут быть поиски по экзогенным ореолам в почвах. Они позволяют надежно выявлять геохимические аномалии в почвах над эродированными эндогенными ореолами при мощности рыхлых отложений до 5—10 м.

Полевые работы заключались в опробовании почв в масштабе 1 : 10000 (на флангах месторождений, на участках рудопроявлений) и в масштабе 1 : 25000—1 : 50000 (на остальной площади). Представительным горизонтом опробования почв является гумусовый горизонт (A₂), глубина опробования 5—10 см.

В результате выполненных в 1966—1971 гг. работ на площади около 700 кв. км были выявлены многочисленные геохимические аномалии, а среди них—аномалии комплексов надрудных элементов-индикаторов, перспективные на обнару-

жение скрытого оруденения. Применение геохимических методов позволило радикально изменить методику поисков скрытого оруденения в районе: отказаться от проведения глубокого поискового бурения по редкой сети на больших по площади перспективных участках, выделяемых по геологическим предпосылкам, и перейти к разбурированию локальных перспективных геохимических ореолов, в пределах которых на глубине наиболее вероятно наличие промышленно интересных рудных тел.

Сопоставление данных геохимических работ с данными ранее проведенного поискового бурения и результаты проверки перспективных геохимических аномалий подтверждают высокую эффективность геохимических поисков скрытого оруденения. Из многочисленных глубоких поисковых скважин, пробуренных на исследованной площади за пределами месторождений и рудопроявлений, рудную минерализацию вскрывают лишь те скважины, которые расположены в контурах надрудных комплексных геохимических аномалий.

В течение 1968—1971 гг. из 25 перспективных геохимических аномалий, рекомендованных к проверке, было проверено глубокими поисковыми скважинами 13. На всех проверенных аномалиях на глубинах от 50 до 500 м вскрыты проявления рудной минерализации с промышленными или близкими к ним содержаниями меди, цинка, свинца и бария. На семи аномалиях они соответствуют мелким непромышленным рудным телам, а на шести (северо-восточный фланг Квемо-Болнисского месторождения, Хачинская аномалия, глубокие горизонты и северо-восточный фланг Давид-Гореджинского месторождения, аномалии Дарбази-Мусоприанской рудной подзоны) — рудным телам промышленного значения.

Относительно невысокий (46) процент выявления промышленного оруденения в данных условиях не может служить показателем отсутствия эффективных критериев отличия аномалий, обусловленных промышленным оруденением, от аномалий вызванных непромышленной рудной минерализацией. Из семи «непромышленных» аномалий пять по своим параметрам (размерам, интенсивности, комплексу элементов) резко уступают надрудным ореолам известных месторождений и в связи с ними не ожидалось выявления крупных рудных тел. Необходимость их проверки обусловливалась прежде всего геологическими предпосылками и необходимостью окончательной оценки площади, прилегающей к Маднеульскому месторождению, на скрытое оруденение.

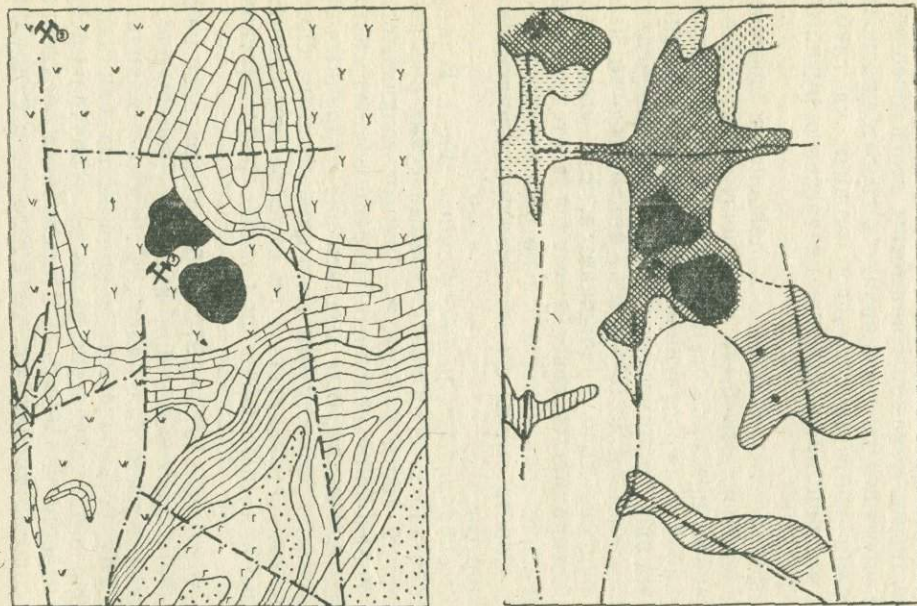
Красногвардейское месторождение, Средний Урал. При проведении опытно-методических работ на Северном участке месторождения было установлено выклинивание ореолов свинца, цинка и меди ниже известной рудной линзы при широком распространении интенсивных ореолов молибдена и кобальта, что подтверждало выклинивание рудных тел на глубину. Наряду с этим в восточном контакте рудовмещающей сланцевой полосы, в 150 м ниже окончания рудных тел был выявлен новый ореол широкого комплекса элементов-индикаторов (Cu, Zn, Pb, Ag, Ba, Co и Mo), который по размерам и интенсивности превышал ореолы, связанные с известными рудными телами. Параметры этого ореола, его расширение с глубиной дали основание в 1968 г. прогнозировать в восточном контакте сланцевой полосы, на глубинах свыше 600 м, наличие промышленно интересного рудного тела (Баранов, 1971).

Проверочные работы по оценке рудоносности восточного контакта сланцевой полосы были проведены в 1971 г. По техническим причинам проверка осуществлялась южнее рекомендованного (наиболее перспективного) сечения. Скважинами подземного бурения было вскрыто тело серноколчеданных руд с содержанием меди до 0,1—0,5%, мощностью до 30 м.

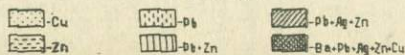
Разведка рудного тела продолжается. Его мощность по падению и простирацию (к северу) увеличивается. Поэтому, учитывая изменение состава ореолов по простирацию, не исключена возможность смены серноколчеданных руд к северу медноколчеданными.

Верхнеуральский рудный район, Южный Урал. В результате составления карты эндогенных геохимических ореолов в пределах северной части района, по данным геохимического опробования поисково-разведочных, картировочных скважин и естественных отложений, был выявлен ряд надрудных ореолов, не связанных с известными месторождениями. Ореолы были оценены как перспективные на скрытое оруденение и рекомендованы для проведения поисковых работ (рекомендация 1968 г.).

Поисковое бурение в 1971—1972 гг. было проведено на юго-восточном фланге месторождения им. XIX Партсъезда, на г. Талган. Проверялся ореол надрудных элементов-индикаторов (Pb, Ag, Zn), установленный в кремнистых сланцах мукасовского горизонта, на участке развития рудозакранирующего горизонта известняков (фиг. 7). Несмотря на обедненность элементного состава ореола, он, по аналогии с надрудными



ореолы:



Фиг. 7. Схематическая геологическая карта и карта эндогенных геохимических ореолов рудного поля им. XIX Партсъезда

1—милларито-дацитовые порфиры, дацитовые порфиры; 2—габбро-диабазы; 3—туфы основного и смешанного состава; 4—кремнистые сланцы; 5—андезитовые порфиры; 6—известняки; 7—разрывные нарушения; 8—рудные тела, вскрытые эрозией; 9—медноколчеданные месторождения (1—им. XIX Партсъезда, 2—Новое); 10—лоисковые скважины, вскрывшие рудные тела

ореолами известных месторождений в экранированных структурах, оценивался как перспективный на обнаружение скрытых рудных залежей.

При проверке первая же скважина под известняками на глубине 180—400 м вскрыла зону густой сульфидной вкрапленности с интервалами промышленных руд мощностью до 1,5 м, вторая скважина, расположенная ближе к месторождению, пересекла уже 30 м медноколчеданных руд.

Рассмотренные выше примеры обнаружения скрытых колчеданных рудных тел по геохимическим признакам дают основание для вывода о высокой эффективности геохимических методов поисков скрытых колчеданных месторождений и указывают, что в будущем геохимические методы поисков по эндогенным ореолам будут ведущими методами выявления скрытых глубокозалегающих (более 300 м) рудных тел.

При достигнутом уровне методики геохимических поисков скрытого колчеданного оруденения остается еще ряд слабо разработанных вопросов. Среди них необходимо прежде всего отметить методику геохимических поисков скрытых колчеданных месторождений вулканогенно-осадочного типа, особенно в связи с возможностью формирования около них гетерогенных геохимических ореолов. Требуют дальнейшего усовершенствования геохимические критерии прогноза глубины залегания и масштабов скрытых метасоматических рудных тел. Необходимо разработать критерии разделения ореолов, сопровождающих промышленные рудные концентрации и зоны рассеянной рудной минерализации.

Разработка геохимических методов до сих пор была нацелена на локальное прогнозирование—на выявление отдельных рудных тел и месторождений. Не менее важной задачей расширения минерально-сырьевой базы является прогноз и выявление новых рудных районов. Поэтому особого внимания требует разработка геохимических критериев потенциальной колчеданной рудоносности вулканогенных формаций.

ЛИТЕРАТУРА

Байрамалибейли Э. Т., Галкина Т. Н. О геохимических поисках по первичным ореолам рассеяния (на примере Физличайского меднополиметаллического месторождения, южный склон Большого Кавказа). — Труды КИМС, вып. V, Тбилиси, 1961.

Баранов Э. Н., Рыфтин В. М., Голод А. И., Пурик И. А., Рубо Г. Л. Эндогенные геохимические ореолы как поисковый признак скрытого колчеданного оруденения. В сб. «Эффективность геохимических методов поисков рудных м-ний». Изд. ИМГРЭ, 1967.

Баранов Э. Н., Голод А. И., Карпухина В. С., Коляко Д. С., Лазарев В. Н., Некрасова В. Л., Пурик И. А., Рыфтин В. М. Основы геохимических методов поисков скрытых колчеданных месторождений по эндогенным ореолам. Научные собрания ИМГРЭ, вып. 5. Изд. ИМГРЭ, 1970.

Баранов Э. Н. Геохимические поиски скрытых колчеданных месторождений по эндогенным ореолам. Научные собрания ИМГРЭ, вып. 7. Изд. ИМГРЭ, 1971¹.

Баранов Э. Н., Голод А. И., Лазарев В. Н., Пурик И. А., Рыфтин В. М. Применение геохимических методов при составлении металлогенических и прогнозных карт колчеданных рудных районов. В сб. «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», вып. 4, Изд. ИМГРЭ, 1971².

Баранов Э. Н., Пурик И. А., Поливанов В. С. Опыт геохимических поисков скрытого медноколчеданного и полиметаллического оруденения на юго-востоке Грузии. Научные собрания ИМГРЭ, вып. 7. Изд. ИМГРЭ, 1971³.

Баранов Э. Н. Зональность эндогенных геохимических ореолов колчеданных м-ний и принципы прогнозирования на ее основе скрытого оруденения. В сб. «Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений». Изд. ИГЕМ, 1972.

Баранов Э. Н., Голдик А. С., Лазарев В. Н., Поливанов В. С., Саев Ю. Е. К вопросу о глубинности поверхностных геохимических поисков перекрытых месторождений. В сб. «Литогеохим. методы при поисках скрытого оруденения», Изд. ИМГРЭ, 1972.

Баранов Э. Н., Засухин Г. Н., Карпухина В. С., Логинова Л. А., Бухарова В. А. О формах нахождения меди, цинка, свинца и других элементов в пиритах из ореолов колчеданных месторождений. — Геохимия, 1972², № 10.

Баранов Э. Н., Голод А. И., Лазарев В. Н., Пурик И. А., Рыфтин В. М. Основные результаты разработки методики литохимических поисков скрытых колчеданных месторождений. В сб. «Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, 1972³.

Баранов Э. Н., Поливанов В. С., Пурик И. А. Методика и результаты геохимических поисков скрытого оруденения в юго-восточной Грузии. В сб. «Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, 1972⁴.

Бельков Ю. П., Нечехин В. М., Пономарева Р. Н. О геологическом строении, составе геохимических ореолов и генезисе колчеданных месторождений Домбаровского рудного района (Ю. Урал). Ежегодник 1971 г. Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УНЦ АН СССР, Свердловск, 1972.

Голод А. И. Коэффициент зональности первичных геохимических ореолов и его использование для прогнозирования скрытого колчеданного оруденения. В сб. «Пятая научная конференция молодых сотрудников ИМГРЭ». 1967.

Голод А. И., Резников И. Н., Инин В. Д. О методике составления геохимической основы для прогнозно-металлогенической карты Рудного Алтая. В сб. «Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, 1972.

Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений. Изд-во «Недра», 1968.

Гудиашвили Д. Н., Купрадзе Ф. И. Первичные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений Грузии. Геол. сборник № 2 КИМС. Госгеолтехиздат, 1962.

Засухин Г. Н., Логинова Л. А. Опыт применения геохимических поисков колчеданных месторождений на Ю. Урале. Госгеолтехиздат, 1963.

Зенков Д. А. Разнообразие вертикальной зональности минералогического состава постмагматических рудных тел и месторождений. В сб. «Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений». Изд. ИГЕМ, 1972.

Карпухина В. С., Баранов Э. Н. Формы нахождения элементов-индикаторов в эндогенных геохим. ореолах колчеданных месторождений. В сб. «Литогеохимические методы при поисках скрытого оруденения». Изд. ИМГРЭ, 1972.

Красников В. И. Глубинные поиски рудных месторождений по первичным ореолам. Междунар. геол. конгресс, XXI сессия. Изд-во «Наука», 1960.

Лазарев В. Н. Экзогенные геохимические ореолы медноколчеданных месторождений Молодежного рудного района (Ю. Урал) и их поисковое значение. В сб. «Литогеохим. методы при поисках скрытого оруденения», Изд. ИМГРЭ, 1972.

Лазарев В. Н., Баранов Э. Н., Коляко Д. С., Петров Т. В. Эндогенные геохимические ореолы медноколчеданных месторождений Молодежного рудного района (Южный Урал) и их зональность. — Изв. АН СССР, сер. геолог., 1972, № 10.

Овчинников Л. Н., Баранов Э. Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. — Геология рудн. м-ний, 1970, № 2.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. — Труды II сессии Междувед. Совета, Иркутск, 1970.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В., Баранов Э. Н. Первичные геохим. ореолы гидротермальных месторождений и их поисковое значение. В сб. «Прогнозирование скрытого оруденения на основе зональности гидротермальных месторождений», Изд. ИГЕМ, 1972.

Пурик И. А., Поливанов В. С., Баранов Э. Н. Опыт литохим. поисков скрытого медноколч. оруденения в юго-восточной части Грузии. В сб. «Литохимические поиски рудных м-ний», Алма-Ата, 1968.

Пурик И. А., Поливанов В. С., Баранов Э. Н., Беллева А. В. Поиски скрытого медноколчеданного и сульфидно-касситеритового оруденения по вторичным геохимическим ореолам рассеяния. В сб. «Литохимические поиски рудных м-ний», Алма-Ата, 1972.

Росман Г. И. Опыт изучения первичных ореолов рассеяния полиметаллических месторождений Рудного Алтая. В сб. «Геохимические поиски рудных м-ний в СССР». (Труды Первого Всесоюзн. совещания по геохимич. методам поисков рудных м-ний). Госгеолтехиздат, 1957.

Росман Г. И. Первичное рассеяние металлов в боковых породах Николаевского колчеданно-полиметаллического месторождения (Рудный Алтай). — Сов. Геология, 1960, № 6.

Рыфтин В. М., Баранов Э. Н., Карпухина В. С. Эндогенные геохимические ореолы Гайского медноколчеданного месторождения (Ю. Урал). В кн. «Редкометальные месторождения, их генезис и методы исследования». Изд-во «Недра», 1972.

Сает Ю. Е., Несвижская, Н. И., Игумнов Н. Я., Булавский Ю. Н. Геохимические особенности экзогенных ореолов скрыто-погребенных медно-колчеданных месторождений Северных Мугоджар. В сб. «Литогеохим. методы при поисках скрытого оруденения», Изд. ИМГРЭ, 1972.

Соловов А. П. Основы теории и практики металлотрических съемок. Изд. АН Каз. ССР, Алма-Ата, 1959.

Янишевский Е. М., Григорян С. В., Баранов Э. Н., Вертепов Г. И., Каблуков А. Д. Эндогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. Госгеолтехиздат, 1963.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ПОИСКАХ СКРЫТОГО И ПЕРЕКРЫТОГО ОЛОВЯННОГО ОРУДЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПРИМОРЬЯ

Центральная геохимическая экспедиция ИМГРЭ к работам по изучению первичных (эндогенных) геохимических ореолов месторождений олова в Приморье приступила в 1965 г. К настоящему времени партиями экспедиции, при прямом участии в этой работе геологов Приморского ГУ и его экспедиций, был собран представительный фактический материал по характеристике первичных ореолов месторождений касситерит-сульфидной формации, т. е. формации, представляющей почти все крупные промышленные месторождения олова в данном районе.

Месторождения касситерит-сульфидной формации в основном залегают в толщах песчано-алевролитово-сланцевых пород. Рудные узлы оловянного оруденения тяготеют к зонам крупных глубинных разломов, особенно к участкам их осложненными структурами оперения. Рудные тела по морфологии подразделяются на жилы, жильные зоны, минерализованные зоны дробления, штокверки.

По минеральному составу руды олова можно подразделить на 1) касситерит-кварцевые, 2) касситерит-турмалиновые, 3) касситерит-хлоритовые, 4) касситерит-арсенопирит-пирротинные и 5) касситерит-галенит-сфалеритовые.

Для последних двух типов руд характерно наличие в их составе не только касситерита, но и стannина.

Большинство исследователей выделяет следующие четыре стадии минералообразования: 1—силикатную (предрудную), 2—выделения основной массы касситерита, 3—выделения основной массы сульфидов, 4—карбонатную.

Среди процессов гидротермального изменения рудовме-

щающих пород различные исследователи выделяют грейзенизацию, хлоритизацию, турмалинизацию, серицитизацию, окварцевание и карбонатизацию.

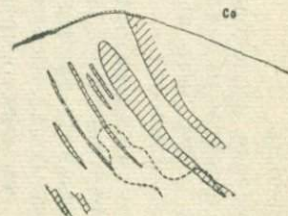
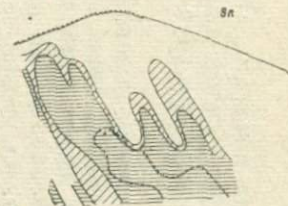
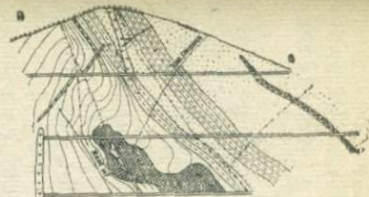
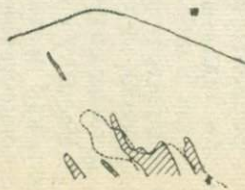
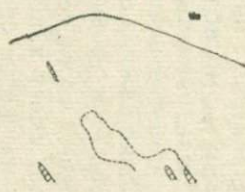
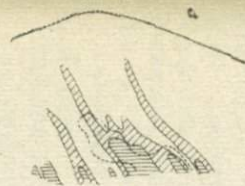
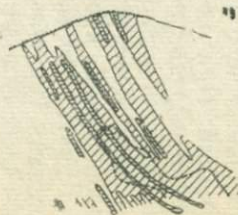
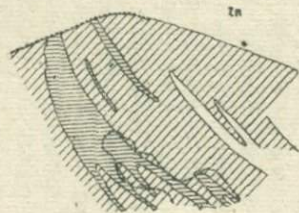
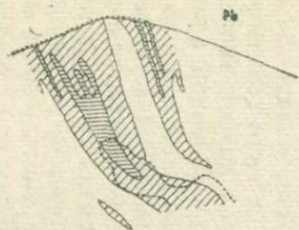
Первичные геохимические ореолы рудных тел касситерит-сульфидной формации имеют сложный полиэлементный состав. Однако в настоящее время не все из элементов-индикаторов используются в практической работе. Одни не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к характеристикам параметров их распределения в вертикальном разрезе ореола. Другие же не могут быть использованы из-за непредставительности фактического материала, на основе которого определены их параметры. В результате для производственных работ можно рекомендовать в качестве индикаторов следующие элементы: олово, свинец, цинк, серебро, медь, висмут, молибден, вольфрам, кобальт, мышьяк, сурьму, бериллий, литий. Для формы ореолов характерны два крайних случая — линейно-вытянутые и изометрические. Кроме этого, может быть отмечено множество промежуточных форм.

Размеры ореолов весьма различны, но и по мощности и простирацию, а также по восстанию значительно превосходят размеры рудных тел, около которых они образуются. Например, на месторождении Верхнем ореол над рудным штокверком прослежен более чем на 350 м (фиг. 1). Отчетливо выражена закономерность, выражающаяся в пропорциональной зависимости между размерами рудных тел и их первичных ореолов. Однако большие по размерам ореолы не всегда связаны с крупными промышленными рудными телами.

Первичный ореол в целом представляет собой совокупность объемов распределения отдельных элементов-индикаторов. Эти частные объемы распределения, особенно их участки с повышенным содержанием, у различных элементов-индикаторов смещены в пространстве, как относительно друг друга, так и относительно рудного тела. В связи с этим в строении ореолов может быть четко выделена особенность, выражаю-

Фиг. 1. Первичные ореолы вокруг рудных тел

1 — песчаники; 2 — отложения, представленные переслаивающимися песчаниками и алевролитами; 3 — алевролиты; 4 — порфириты; 5 — штокверковое рудное тело; 6 — тектонические зоны; 7 — подземные горные выработки; 8—9 — содержание элемента (в %): олово (соответственно) 0,005—0,01 > 0,01; кобальт > 0,001, свинец 0,002—0,018 > 0,018; цинк 0,01—0,1 > 0,1; серебро 0,00001—0,0001 > 0,0001; медь 0,01—0,015 > 0,015; висмут 0,00001—0,001 > 0,001, молибден > 0,0003; вольфрам > 0,001



щаяся в зональности распределения в них элементов. Для месторождений олова, приуроченных в подавляющем большинстве случаев к крутопадающим структурам, наибольший практический интерес представляет так называемая «вертикальная» зональность.

Методические исследования показали, что из общего количества элементов-индикаторов сульфидно-касситеритового оруденения могут быть выделены три группы элементов-индикаторов зональности.

1. Элементы-индикаторы верхней половины вертикального разреза первичного ореола—свинец, цинк, серебро. Как правило, ореолы этих элементов имеют наибольшие размеры и относительно более высокие концентрации в верхней половине общего первичного ореола, на уровне верхних окончаний рудных тел и выше, и только изредка на уровне среднерудного интервала.

2. Элементы-индикаторы нижней половины первичного ореола—медь, висмут, молибден, вольфрам. Ореолы этих элементов наибольшие размеры и относительно более высокие концентрации имеют в нижней половине общего первичного ореола, на уровне нижних окончаний рудных тел и ниже, и только изредка—на уровне среднерудного интервала.

3. Элемент средней части первичного ореола—олово. Его ореол, как правило, имеет наибольшие размеры и повышенные концентрации на уровне среднерудного интервала.

Установленные закономерности распределения элементов-индикаторов в первичных ореолах месторождений олова в Приморье позволили выделить целый ряд геохимических критериев для интерпретации и разработки отдельных срезов первичных ореолов, вскрытых на поверхности, а также буровыми скважинами и горными выработками в виде геохимических аномалий. При оценке таких аномалий большое значение, в первую очередь, имеет определение формационной принадлежности ожидаемого оруденения, обусловившего образование аномалии. Известно, что в Приморье месторождения касситерит-кварцевой, касситерит-сульфидной, полиметаллической и ряда других формаций часто находятся на одних и тех же площадях. Поскольку промышленная ценность месторождений различных формаций различна, важно уметь их различить. Определение формационной принадлежности ожидаемого оруденения особенно необходимо для оценки перспектив рудности на глубину.

В целом ряде случаев формационную принадлежность первичного ореола можно определить, используя соотношения размеров и интенсивности ореолов различных элементов-индикаторов.

В настоящее время разрабатывается количественный критерий определения формационной принадлежности оцениваемого первичного ореола. В качестве такого критерия предлагается, в частности, использовать моды распределения в ореолах таких элементов-индикаторов, как олово, вольфрам, бериллий, литий и др.

Так, ореолы наиболее важной в промышленном отношении касситерит-сульфидной формации однозначно отличаются от ореолов касситерит-кварцевой формации по положению моды распределения вольфрама, бериллия, лития, а от ореолов полиметаллической формации по положению моды распределения олова (табл. 1). В настоящее время эта методика совер-

Таблица 1

Моды распределения элементов-индикаторов
в рудных формациях Приморья

Формации	Элементы-индикаторы			
	олово	вольфрам	бериллий	литий
Касситерит-кварцевая	0,001	0,00x	0,00x	0,0x
Касситерит-сульфидная	0,00x	0,000x	0,000x	0,00x
Полиметаллическая	0,000x	0,000x	0,000x	0,00x

шенствуется. Для этих целей, в частности, на ряде промышленных месторождений по опорным разрезам изучались моды распределения олова (табл. 2). В этой таблице для сравнения приведены также данные о среднем содержании олова на различных уровнях ореолов. Из этих данных видно, что если среднее содержание олова в ореоле на различных уровнях меняется в широких пределах—от 0,0009 до 0,06%, то мода распределения его намного стабильнее, т. е. находится в пределах одного и того же порядка, за исключением горизонта 300 м на месторождении Верхнее. Это отклонение можно объяснить тем, что на данном уровне ореол неполностью оконтурен и значительная часть его с тысячными значениями содержания олова находится за пределами профиля опробования.

Моды распределения и содержания олова
в ореолах оловорудных месторождений Приморья

Интервалы ореолов	М-ние Верхнее			М-ние Арсеньевское			М-ние Перевальное		
	Горизонты	Содержание, %	Мода, %	Горизонты	Содержание, %	Мода, %	Горизонты	Содержание, %	Мода, %
Верхнерудный	Поверхность	0,002	0,00x	—	—	—	—	—	—
	Горизонт 680 м	0,02	0,00x	выше 510 м	0,002	0,00x	—	—	—
Среднерудный	Горизонт 480 м	0,02	0,00x	510— 310 м	0,01	0,00x	выше 510 м	0,0015	0,00x
	Горизонт 300 м	0,06	0,0x	ниже 310 м	0,006	0,00x	510— 350 м	0,001	0,00x
Нижнерудный	—	—	—	—	—	—	ниже 350 м	0,0009	0,00x

Знание закономерностей вертикальной зональности первичных ореолов позволило разработать количественные геохимические критерии, необходимые для решения второго важного вопроса, возникающего при оценке выявленных геохимических аномалий. Таким вопросом является определение положения среза первичного ореола по отношению к различным частям ожидаемого рудного тела. В качестве критерия могут быть предложены выведенные нами показатели зональности, выраженные в виде отношений мультипликативных величин содержаний групп следующих элементов:

$$\frac{\text{Свинец} \times \text{цинк} \times \text{серебро}}{\text{Медь} \times \text{висмут} \times \text{молибден}} ; \quad \frac{\text{Свинец} \times \text{цинк} \times \text{серебро}}{\text{Медь} \times \text{висмут} \times \text{вольфрам}}$$

Необходимо подчеркнуть, что предлагаемые показатели зональности принципиально отличаются от всех показателей зональности, которые были предложены ранее другими исследователями для оценки уровней среза первичных ореолов месторождений касситерит-сульфидной формации. В отличие от них, предлагаемые нами принципы определения этих важных показателей базируются на следующих основных положениях.

1. Реально существует вертикальная зональность, макроскопически выраженная в смене сульфидов (свинец, цинк, серебро) с глубиной и от периферии к центру более высокотемпературной минеральной ассоциацией руд олова (медь, висмут, молибден, вольфрам).

2. При выводе показателей зональности следует исключить частные отклонения в проявлении вертикальной зональности, наблюдаемые на отдельных месторождениях, и учитывать только общие закономерности, характерные для большинства месторождений. Например, в первичных ореолах месторождений малосульфидного типа касситерит-сульфидной формации области повышенных концентраций мышьяка находятся в нижней половине ореола, а на месторождениях сульфидного типа этой же формации — в верхней половине общего первичного ореола. Ввиду такого двойственного характера в распределении мышьяк не был включен в группу элементов-индикаторов, используемых для определения показателя зональности.

3. Не использовались элементы, по которым не было достаточных данных о закономерностях распределения их в ореоле по причинам недостаточной чувствительности анализа.

4. Показатель зональности позволяет производить соответ-

ствующие расчеты непосредственно по данным содержания элемента-индикатора, т. е. его определение очень просто.

В 1971 г. Дальневосточной ревизионно-тематической партией совместно с геологами Кавалеровской ГРЭ ПГУ был разработан эталон изменения величин приведенных выше показателей зональности для различных уровней среза первичного ореола. На фиг. 2 приведен сводный график изменения

величин показателя зональности $\frac{\text{Свинец} \times \text{цинк} \times \text{серебро}}{\text{Медь} \times \text{висмут} \times \text{молибден}}$, демонстрирующий возможность уверенно отличать срез надрудного интервала первичного ореола (>50000) от среднерудного ($500-1$), и тем более от подрудного ($<0,01$).

В дальнейшем намечается совершенствование показателей зональности, в основном в двух направлениях.

1. Расширение круга элементов-индикаторов зональности, которые можно было бы использовать при определении показателей зональности. Особый интерес представляют элементы-индикаторы нижней половины вертикального разреза первичного ореола.

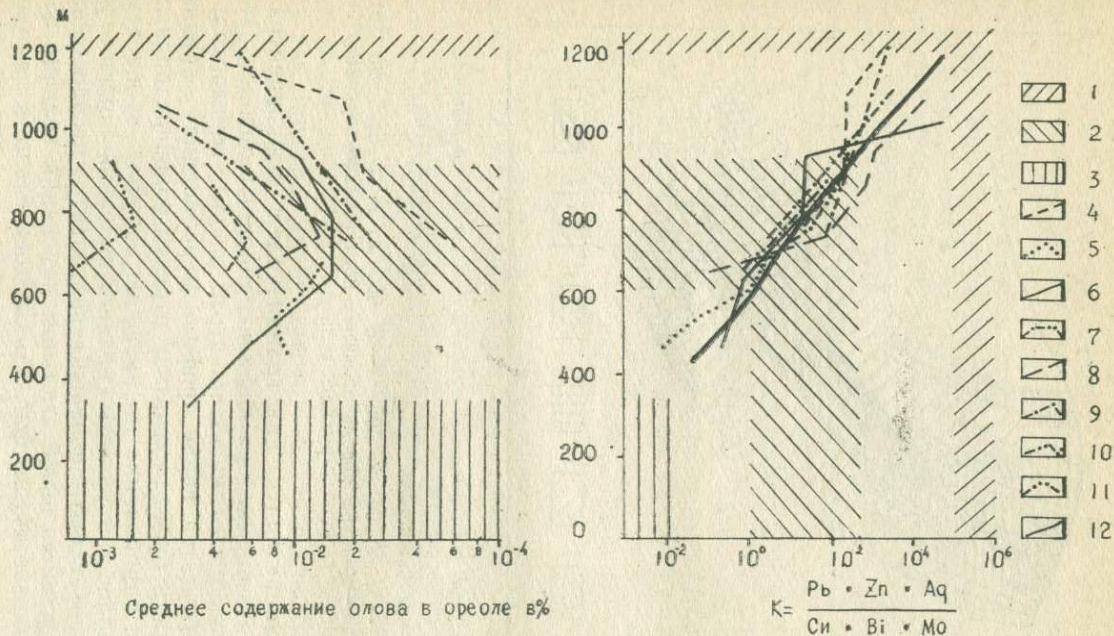
2. Отработка методики использования рассчитанных показателей зональности при оценке перспектив рудоносности геохимических аномалий на глубину, а также при оценке нижних горизонтов рудопроявлений и разведываемых месторождений.

В успешном решении второго направления большие возможности открываются при изучении распределения величин показателя зональности в каждой точке первичного ореола. Сейчас нами сделаны только первые шаги в этом направлении, позволившие представить здесь схему распределения величины показателя зональности в вертикальном разрезе, вкрест простирания первичного ореола (фиг. 3).

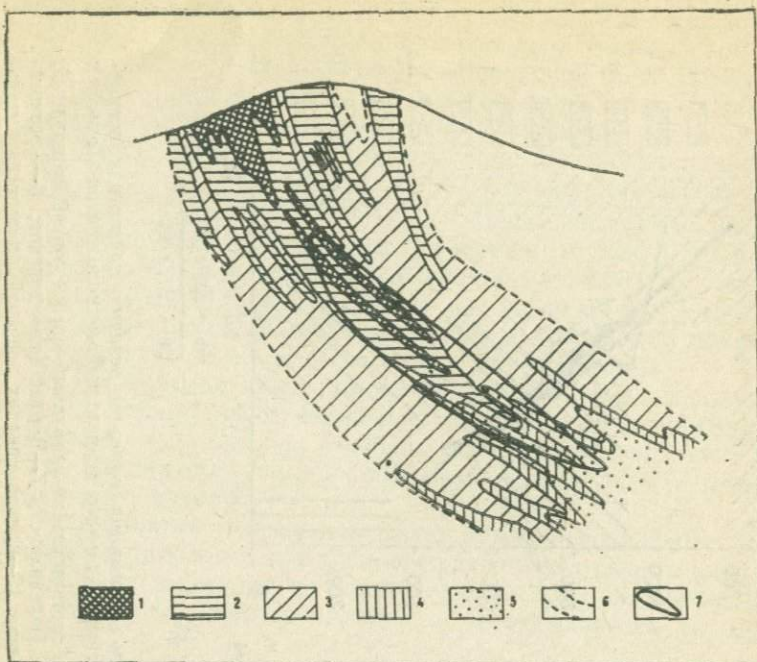
Из приведенной схемы одозначно вытекают два вывода.

1. Выделенные поля различных величин показателя зональности в пределах первичного ореола в целом закономерно распределяются по вертикали. В самом верху расположены поля значений $>50\ 000$, затем поля со значением от 500 до 50 000, ниже поля со значением от 1 до 500, еще ниже— со значением от 0,01 до 1 и в самом низу поля со значением $<0,01$. Таким образом, эта смена полностью совпадает со сменой средних (по мощности ореола) значений показателя зональности—от надрудных уровней к подрудным.

2. Границы смежных полей выделенных величин показателя зональности имеют очень сложную зубчатую форму,



Фиг. 2. Сводный график распределения среднего содержания олова и величин показателя зональности в первичном ореоле на разных уровнях вертикального разреза ряда месторождений Приморья 1—3—различные интервалы первичного ореола, соответственно-надрудный среднерудный, подрудный. Месторождения: 4—Верхнее; 5—Лифудзин; 6—Перевальное; 7—Верхне-Кинцухинское; 8—Арсеньевское; 9—Хрустальное; 10—Тернистое; 11—Ивановское; 12—кривая средних значений показателя зональности



Фиг. 3. Схема распределения величин показателя зональности
 $\frac{\text{Свинец} \times \text{цинк} \times \text{серебро}}{\text{Медь} \times \text{висмут} \times \text{молибден}}$ в вертикальном поперечном разрезе

1— $>50\,000$; 2—от 50 000 до 500; 3—от 500 до 1; 4—от 1 до 0,01;
 5— $<0,01$; 6—контуры ореола олова; 7—контуры штокверкового
 рудного тела

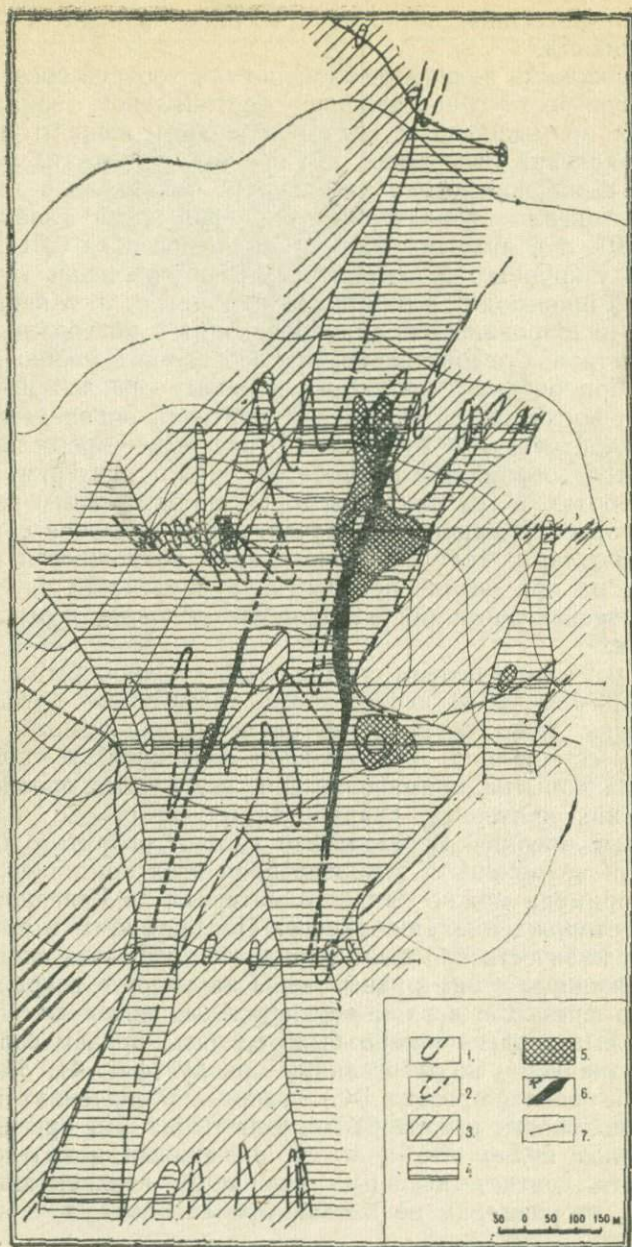
т. е. форму, характерную для границ полей изоконцентрат любого элемента-индикатора инфильтрационных ореолов. Это обстоятельство обуславливает то, что в любом горизонтальном сечении (имеется ввиду профиль опробования) ореола на всю мощность будут отмечаться отрезки полей различных величин. Если опробование по профилю провести не на всю мощность ореола, при расчете среднего значения показателя зональности могут быть получены результаты, несопоставимые с предложенным выше эталоном изменения величин показателя зональности (см. фиг. 2). Следовательно, в настоящее время геохимическое опробование с целью определения уровня среза оцениваемого ореола на основе критериев, имею-

щих количественные выражения, должно проводиться на всю его мощность.

Возможность количественной оценки уровней среза позволило произвести сопоставление вертикальной зональности крупных промышленных месторождений и непромышленных рудопроявлений. Оказалось, что и у тех, и у других рассмотренные выше показатели зональности одинаково в верхних частях ореола характеризуются большими значениями ($>50\,000$), а в нижних—малыми значениями ($<0,01$). Однако если у крупных промышленных месторождений эта смена значений происходит в интервале километра, то в непромышленных рудопроявлениях она происходит в интервале первых сотен метров. Следовательно, эту особенность можно использовать при оценке перспектив первичных ореолов на глубину, т. е. получить геохимический критерий определения промышленной ценности аномалий. В настоящее время нами начаты исследования по разработке такого критерия.

В работах, в условиях Приморья, по экзогенным геохимическим ореолам основной задачей, как и в случае с первичными ореолами, являлось определение возможности использования их при оценке перспектив рудоносности на глубину геохимических аномалий, выявляемых в почвах и рыхлых отложениях.

Однако если в первом случае связь «ореол-скрытое рудное тело» прямая, то во втором связь «экзогенный ореол-скрытое рудное тело» осуществляется через эндогенный ореол. Поэтому естественно, что основной особенностью наших работ была попытка применения для экзогенных ореолов геохимических критериев, разработанных на основе изучения первичных ореолов. В результате можно говорить о принципиальной возможности использования этих критериев. В качестве примера можно привести материал по Северному участку месторождения Ноябрьское. По профилям в коренных породах количественно было определено, что экзогенный ореол и связанные с ним рудные зоны на участке вскрыты эрозионным срезом в верхах верхнерудного интервала. Аналогичный вывод здесь можно было сделать, причем совершенно однозначно, и по экзогенному ореолу (фиг. 4). Здесь экзогенный ореол (горизонт ВС) выражен в значениях показателя зональности и контурах ореола олова. Из приведенных материалов видно, что поле со значениями показателя зональности, соответствующими величинам верхнерудного интервала, по размерам не меньше ореола олова, т. е. элемен-



та, размеры ореола которого соответствуют обычно размерам всего первичного ореола. При этом поле верхнерудных значений показателя зональности в указанных размерах сплошное, что однозначно указывает на верхнерудный срез, а наличие в центральных частях ореола полей со значениями показателя зональности, соответствующими величинам надрудного интервала, подчеркивает близость оцениваемого уровня к верхам верхнерудного интервала.

В заключение необходимо подчеркнуть, что разработка количественных критериев по экзогенным геохимическим ореолам находится еще в самой начальной стадии.

Фиг. 4. Первичный ореол, построенный в величинах показателя зональности:

$\frac{\text{Свинец} \times \text{цинк} \times \text{серебро}}{\text{Медь} \times \text{висмут} \times \text{молибден}}$

в рыхлых отложениях (горизонт ВС).

Участок Северный Ноябрьского месторождения

Контуры ореола олова (в ‰): 1—0,001—0,01; 2—>0,01; ореол в величинах показателя зональности; 3—от 1 до 1000; 4—от 1000 до 100 000;

5—> 100 000; 6—рудные зоны; 7—профиля опробования

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ПОИСКОВ СКРЫТЫХ РТУТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А. А. Сауков (1946), изучая в 30-х годах ртутные месторождения Дагестана, впервые выявил в пределах их рудных полей четкие и протяженные ореолы ртути шириной 1—2 км. Это позволило ему прийти к выводу о возможности применения литохимических методов, в частности гидраргирометрии, для поисков месторождений ртути. Тем самым было положено начало изучению первичных (эндогенных) геохимических ореолов ртути. В дальнейшем они изучались О. В. Вершковской (1956), В. П. Федорчуком (1964), Н. А. Озеровой (1962), Г. А. Тереховой (1966) и другими.

Широкое применение гидраргирометрии не привело к сколько нибудь ощутимым результатам. Оказалось, что ртуть вследствие своей большой миграционной способности образует широкие и протяженные первичные ореолы не только на ртутных, но также на полиметаллических, олово-вольфрамовых, медноколчеданных и многих других месторождениях. Кроме того, первичные ореолы ртути фиксировались в зонах безрудных тектонических нарушений, создавая «ложные» аномалии. Одним словом, ртуть, сопровождая чуть ли не любой гидротермальный процесс, оказалась слишком распространенным элементом-индикатором, чтобы можно было «искать ртуть по ртути». Стало ясно, что геохимические критерии поисков ртутных месторождений могут быть получены путем изучения лишь комплекса ореолов, как ртути, так и тех химических элементов, которые участвуют в образовании каждого ртутного месторождения.

В 60-х годах появляются работы, направленные на создание методики геохимических поисков ртутных месторожде-

ний. Объектом исследований стали геохимические ореолы ртути и ее элементов-спутников не только в коренных породах (первичные ореолы), но и в рыхлых отложениях, почвах, донных осадках и растениях (вторичные, экзогенные ореолы). Изучались также газовые ореолы ртути в почвенном воздухе.

Изучение первичных ореолов ртутных месторождений получило отражение в работах Г. А. Тереховой (1966), С. В. Григоряна, Е. М. Янишевского (1968), В. А. Загоскина (1969), Я. М. Грицюка (1970), В. М. Рогового (1971) и других исследователей. Обзор этих работ показывает, что наиболее полно изучен элементный состав ореолов. Установлено, что для первичных ореолов ртутных месторождений он характеризуется полиэлементностью. Обычно исследователи из сравнительно широкого круга химических элементов, образующих первичные ореолы, выделяют основные элементы-спутники ртутного оруденения, к числу которых относятся мышьяк, сурьма, свинец, цинк, медь, серебро, кобальт, никель, молибден, олово, барий и стронций.

Если на первых этапах изучения первичных ореолов ртутных месторождений исследователи, как правило, отмечали наличие ореолов тех химических элементов, которые устлавливались в рудах в повышенных (по сравнению с фоном) концентрациях, то в последнее время некоторые авторы выделяют в околорудном пространстве аномальные концентрации элементов, содержащихся в рудах в фоновых количествах или даже меньших. К числу таких элементов, по данным С. В. Григоряна и Е. М. Янишевского (1968), Я. М. Грицюка (1970), относятся в первую очередь барий и стронций. Для этих элементов отчетливо устанавливается их перераспределение в околорудном пространстве.

Почти все исследователи устанавливают зональное строение первичных ореолов, которое выражается в закономерном изменении в вертикальном разрезе различных параметров ореолов. Г. А. Терехова (1966) отмечает, что концентрация ртути в подрудной толще в два с лишним раза выше, чем в надрудной; ореол сурьмы в подрудной толще более чем в два раза протяженнее, нежели в надрудной; ореолы мышьяка и таллия развиты в надрудной части разреза. Е. Т. Гиряев (1967) путем подсчета среднеаномальных содержаний, линейных и площадных продуктивностей приходит к выводу о том, что в надрудной части преимущественно развиты высокие концентрации ртути, мышьяка, сурьмы и цинка, на уровне рудных тел—ртути, сурьмы, цинка, никеля и в подрудной зо-

не— кобальта и свинца. С. В. Григорян (1971) для четырех ртутных месторождений установил следующие ряды зональности элементов-спутников (слева направо возрастает степень концентрации элементов от надрудных к подрудным):

Сымап — Ва, Hg, As, Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Sn, Mo

Кончоч — Sb, As, Hg, Ag, Pb, Zn, Cu (Mo, Bi), (Co, Ni, W, Sn)

Сахалинское — As, Hg, Sb, Pb, Zn Cu (Co, Ni)

Агятаг — As, Hg (Ag, Pb, Sn, Zu), Cu, Co, Ni (Be, Mo, W)

Сравнение этих рядов показывает, что они не являются идентичными. Так, например, в ряду зональности Сымапского месторождения молибден завершает ряд, а в ряду зональности Кончочского он находится между медью и висмутом, в ряду Агятагского — между бериллием и вольфрамом. Олово в ряду зональности Кончочского месторождения является последним элементом, а в ряду зональности Агятагского заключено между свинцом и цинком.

Однако, несмотря на отдельные отклонения для некоторых элементов, приведенные ряды зональности принципиально тождественны и С. В. Григорян приходит к выводу о том, что зональность первичных ореолов различных ртутных месторождений может быть выражена единым рядом: Ва—(Sb, As, Hg)—Cu¹—Ag—Pb—Zn—Sn¹—Cu²—Ni—Co—Mo—Sn—As²—Be—W.

Вторичные (экзогенные) геохимические ореолы ртутных месторождений исследованы значительно меньше, чем первичные. Изучение вторичных ореолов получило отражение в трудах Н. Х. Айдиньян и др. (1964), А. П. Виноградова (1957), А. П. Большакова (1964), В. З. Фурсова (1966), Э. А. Суеркулова (1970) и других.

В результате этих работ подтверждено известное положение А. А. Саукова о том, что содержания химических элементов в почвах находятся в симбатной зависимости от содержаний их в коренных породах.

Из приведенного обзора видно, что за последние шесть-восемь лет в области изучения первичных и вторичных геохимических ореолов ртутных месторождений отдельными авторами получены методические разработки, которые уже на современном этапе могут быть применены в практике поисков месторождений ртути. Так, выявлены элементы-спутники ртутного оруденения, установлена зональность первичных ореолов на отдельных месторождениях, в общих чертах выявлена качественная корреляция первичных и вторичных ореолов. Вместе с тем следует отметить, что этих критериев далеко не-

достаточно для оценки выявленных геохимических аномалий. Особенно это относится к аномалиям, обусловленным скрытыми рудными телами.

С целью разработки высокоэффективной методики геохимических поисков ртутных месторождений по первичным и вторичным геохимическим ореолам в Центральной геохимической экспедиции ИМГРЭ в 1966 г. были начаты методические исследования на Терлигхайском (Тува) и Западно-Палянском (Зап. Чукотка) месторождениях ртути, а позднее в Гал-Хая (Якутия), Кавнок и Каракамар (Средняя Азия), а также на ртутных объектах Сев. Кавказа.

Ниже излагаются результаты исследований первичных (эндогенных) и вторичных (экзогенных) геохимических ореолов, полученных в Центральной геохимической экспедиции с 1966 г. по настоящее время на Терлигхайском, Галхайском, Каракамарском и Западно-Палянском месторождениях.

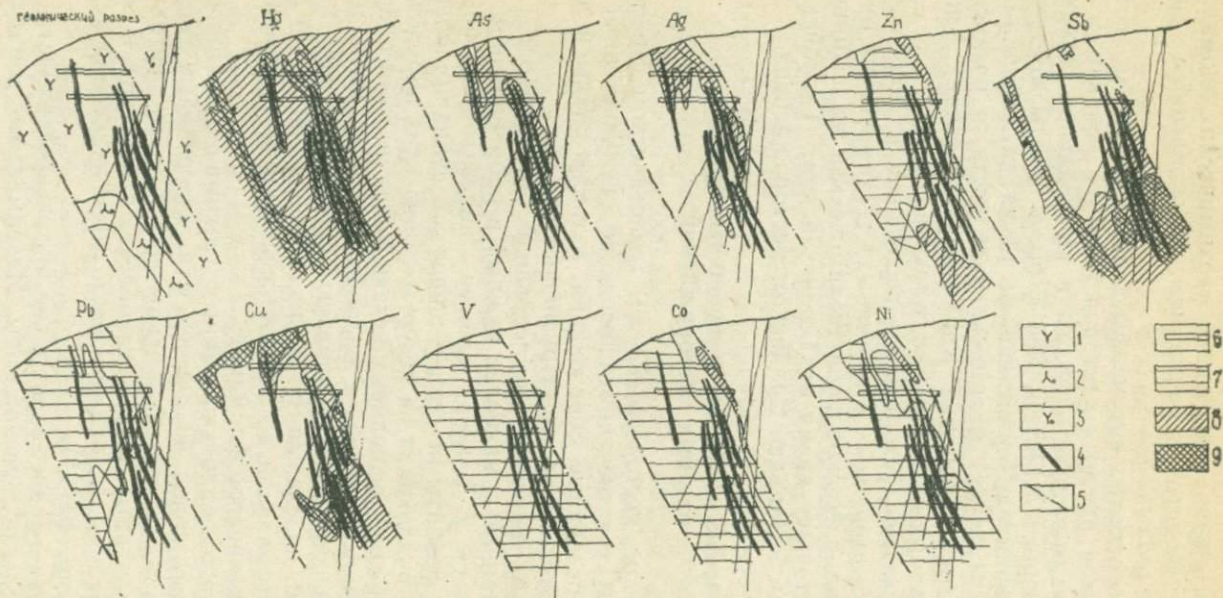
Основные особенности первичных ореолов ртутных месторождений

Терлигхайское месторождение. В геологическом строении его принимают участие нижнедевонские вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования, а также силлы и дайки диабазов Баянкольского интрузивного цикла.

Объектом методических исследований был выбран детально разведанный и наиболее важный в промышленном отношении участок 2. Участок сложен андезито-дацитовыми порфиритами, разбитыми серией широтных субпараллельных сколовых крутопадающих на север тектонических нарушений. Часть этих трещин выполнена ветвящимися и кулисообразно расположенными линзо- и жиллообразными рудными телами, которые в совокупности образуют рудоносную зону мощностью до 120, прослеженную по падению на 250 м. По продуктивной минеральной ассоциации месторождение относится к киноварно-кварцевой формации.

В результате обработки данных геохимического опробования коренных пород на поверхности, в подземных горных выработках и керна скважин, вскрывших по ряду вертикальных разрезов рудные тела, установлено, что вокруг последних первичные ореолы образуют ртуть, мышьяк, серебро, сурьму, цинк и медь (фиг. 1).

Ореол ртути—наиболее широкий, он распространяется далеко за пределы рудоносной зоны. Максимальные concentra-



Фиг. 1. Терлигхайское месторождение. Первичные геохимические ореолы

1—андезито-дацитовые порфириды, 2—туфобрекчин, 3—вулканомиктовые брекчин и гравелиты, 4—рудные тела, 5—тектонические нарушения, 6—штольни. Содержания элементов в ореолах, в г/т: 7—ниже фоновых—цинк—менее 3; свинец—менее 3, ванадий—менее 62, кобальт—менее 5, никель—менее 3; 8—ртуть—0,14—80, мышьяк—более 10, серебро—0,1—0,3, цинк—76—110, сурьма—30—75, медь—8,6—12, кобальт—15—18, никель—15—26; 9—ртуть—более 80, серебро—более 0,3 сурьма—более 75, медь—13—18

ции ртути в ореоле окаймляют рудные тела и развиваются преимущественно в надрудной части вертикального разреза. Кроме того, участки высоких концентраций ртути приурочены также к отдельным тектоническим нарушениям.

Ореол мышьяка значительно уступает по размеру ореолу ртути, целиком вписывается в него и главным образом распространяется в надрудной и верхнерудной части разреза. Вниз по падению на уровне средних частей рудных тел он выклинивается.

Ореол серебра имеет сложную причудливую форму с многочисленными «языками», вытянутыми по направлению падения рудных тел и рудовмещающих нарушений. По своим размерам он несколько превышает ореол мышьяка. Максимальные концентрации серебра развиты в надрудной и верхнерудной части разреза.

Ореол сурьмы значительно больше ореолов мышьяка и серебра. Максимальные концентрации сурьмы развиваются преимущественно в нижнерудной и подрудной частях разреза ореола. Вверх по восстанию он постепенно выклинивается.

Ореол цинка, как и ореол сурьмы, четко приурочен к нижней подрудной части разреза; в отличие от последнего, он имеет значительно меньшие размеры. Вверх по восстанию максимальные его концентрации постепенно сменяются фоновыми содержаниями.

Ореол меди по своим размерам близок к ореолу сурьмы, но в отличие от него распространен как в надрудной, так и в подрудной частях разреза. Максимальные концентрации меди в ореоле развиты повсеместно в надрудной, центральной и подрудной частях разреза. На соседних профилях в лежачем боку рудоносной зоны фиксируются поля пониженных (по сравнению с фоном) содержаний меди.

Размеры ореолов мышьяка, серебра, сурьмы, цинка и меди составляют по простиранию и падению первые сотни метров, по ширине—единицы и первые десятки метров.

Ореолы ртути, мышьяка, серебра, сурьмы, цинка и меди в совокупности образуют комплексный первичный ореол, в строении которого в вертикальном разрезе наблюдается зональность. Наиболее четко это проявлено для первых пяти элементов. Максимальные концентрации ртути окаймляют рудные тела. Ореол мышьяка и максимальные концентрации ореола серебра четко приурочены к верхнерудной и надрудной частям разреза. Поля максимальных концентраций орео-

лов сурьмы и цинка развиты в нижнерудной и подрудной частях разреза.

Эта зональность находит свое количественное выражение в распределении по вертикальному разрезу величин линейных продуктивностей ртути, мышьяка, серебра, сурьмы и цинка, а также отношений этих величин для ртути, мышьяка и серебра к сурьме или цинку.

Анализ распределения максимальных концентраций элементов в вертикальном разрезе показывает, что зональность ореола может быть представлена следующим рядом элементов (сверху вниз): ртуть, мышьяк, серебро, сурьма, цинк. Первые три элемента в этом ряду образуют группу надрудных элементов, а сурьма и цинк относятся к группе подрудных.

Эта закономерность может быть выражена также в виде соответствующего количественного показателя (показатель зональности). Наиболее контрастно он может быть выражен отношением произведений содержаний элементов надрудной группы к произведению содержаний элементов подрудной группы по формуле

$$P_3 = \frac{\text{Ртуть} \times \text{мышьяк} \times \text{серебро}}{\text{Сурьма} \times \text{цинк}}$$

Этот показатель, рассчитанный для разных уровней разреза первичного ореола рудного тела, на Терлигхайском месторождении имеет следующие выражения:

Уровни ореола относительно рудного тела	Показатели зональности
Надрудный	215,0
Верхнерудный	3,4
Центральнорудный	0,06
Нижнерудный	0,00008

Из этой таблицы следует, что величина показателя зональности уменьшается с глубиной и что она весьма контрастно различается по разным уровням.

Галхайское месторождение. Участок месторождения сложен моноклинально залегающими карбонатными породами нижнего силура. Ртутное оруденение приурочено к зоне дробления субмеридионального простирания, сложенной известня-

ковой брекчией. Рудные тела представляют собой линзо- и жиллообразные залежи мощностью в первые метры. Оруденение отличается крайней неравномерностью и невыдержанностью по простиранию и падению. В рудах, помимо киновари, содержатся антимонит, реальгар и аурипигмент, что позволяет отнести месторождение к ртутно-сурьмяно-мышьяковой рудной формации. Изменения вмещающих пород заключаются в доломитизации, кальцитизации и окварцевании. Вблизи от рудоносной зоны проявлены также битуминизация и пиритизация.

По результатам геохимического опробования кернa разведочных скважин по трем разрезам вокруг рудного тела I установлены первичные геохимические ореолы ртути, мышьяка, сурьмы, серебра, меди, свинца, цинка, никеля, кобальта, молибдена, олова, золота, бария и таллия.

Ртуть образует наиболее широкий ореол, далеко выходящий за пределы разреза; максимальные ее концентрации в ореоле четко приурочены к центральной и надрудной части разреза. Ореолы всех остальных элементов-спутников пространственно целиком вписываются в ореол ртути.

Ореол мышьяка резко выклинивается по падению рудного тела с резким переходом от высоких концентраций к содержаниям, находящимся ниже порога чувствительности анализа. Поля наиболее высоких концентраций этого ореола наблюдаются в центральной и надрудной частях разреза.

Ореол сурьмы резко расширяется в надрудной и постепенно затухает в подрудной части разреза.

Ореол серебра значительно уступает по размерам ореолу сурьмы и окаймляет рудное тело, быстро исчезая по падению и восстанию.

Медь, никель и кобальт образуют интенсивные ореолы на уровне центральной части рудного тела, которые вниз по падению резко расширяются.

Ореол свинца фиксируется в основном в нижнерудном и подрудном пространстве.

Ореол цинка отличается низкими концентрациями и локализуется на уровне центральной части рудного тела, прослеживается вниз по падению и выклинивается к верхам рудного тела.

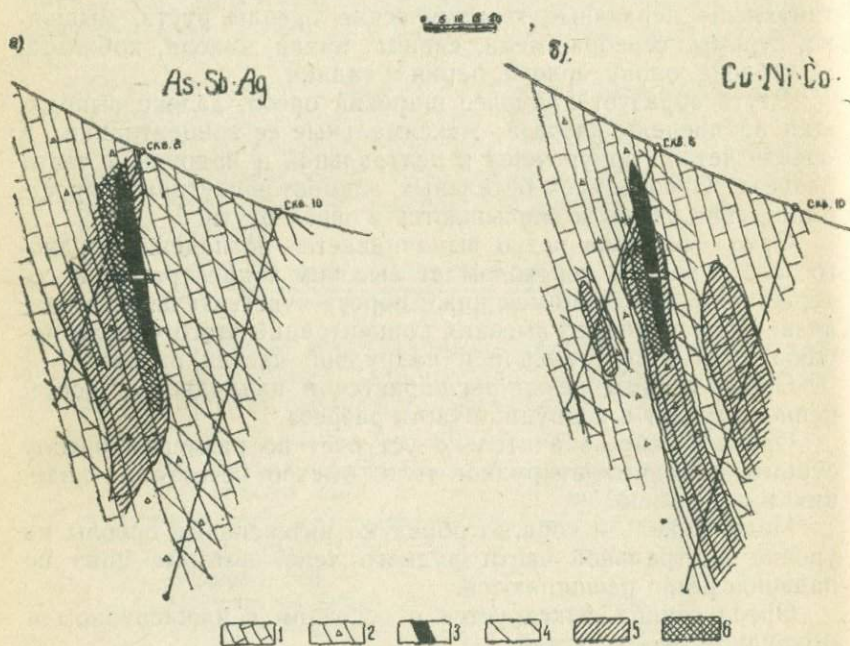
Молибден образует широкий ореол в центральной, нижней и подрудной частях разреза. По восстанию рудного тела ореол молибдена быстро выклинивается.

Золото и таллий образуют интенсивные ореолы в около-

рудной и верхнерудной частях рудоносной зоны, затухающие вниз по падению.

Олово образует поля слабых аномальных концентраций в пределах рудоносной зоны.

Из описания первичных ореолов Галхайского месторождения следует, что максимальные концентрации ртути, а также мышьяка, сурьмы, серебра, золота и таллия приурочены в основном к уровню центральной части рудного тела и надрудному пространству; ореолы меди, никеля, кобальта, свинца, молибдена развиты в основном в нижнерудной и подрудной частях разреза.



Фиг. 2. Галхайское месторождение. Ореолы мультипликативных величин содержаний: а) надрудной и б) подрудной групп элементов

1—известняки ландоверского яруса, 2—тектонические зоны, выполненные брекчией известняков, 3—рудные тела. Значения произведений содержаний элементов в г/т: 4—мышьяк, сурьма, серебро 0,6—13,3, медь, никель, кобальт 8,7—135,2; 5—мышьяк, сурьма, серебро 13,2—9900, медь, никель, кобальт 135,2—3825; 6—мышьяк, сурьма, серебро более 9900, медь, никель, кобальт более 3825

Коэффициенты зональности (отношения содержания каждого элемента к сумме содержаний всех других элементов, по С. В. Григоряну), рассчитанные для трех уровней ореола относительно рудного тела, свидетельствуют, что к группе надрудных элементов относятся мышьяк, сурьма и серебро, а к группе подрудных—медь, никель и кобальт. Выделенные группы элементов-индикаторов зональности позволяют построить ореолы мультипликативных величин содержаний элементов надрудной и отдельно подрудной групп. Эти ореолы (фиг. 2) отчетливо отражают вертикальную зональность.

Ореол надрудной группы расширяется в верхней части разреза и постепенно затухает в подрудной. По падению рудного тела он прослеживается в целом более чем на 120 м, а над рудным телом—на первые метры. Ореол подрудной группы элементов выклинивается на уровне центральной части рудного тела, расширяется в подрудном пространстве и прослеживается ниже рудного тела более чем на 70 м.

Зональность ореолов хорошо проявляется также при сравнении величин отношений (мультипликативных значений) линейных продуктивностей надрудной группы элементов к подрудной на трех уровнях относительно рудного тела.

Уровни ореола относительно рудного тела	Показатель зональности
Верхнерудный	21,9
Центральнорудный	0,33
Подрудный	0,00016

Из этого следует, что величины отношений линейных продуктивностей, соответствующие верхнерудному и подрудному уровням, очень контрастны (различие в $1,3 \cdot 10^5$ раз).

Западно-Палянское месторождение. Рудное поле Западно-Палянского месторождения приурочено к одноименной антиклинали меридионального направления протяженностью около 30 км, в ядре которой находится Палянский массив гранодиоритов. Крылья складки осложнены сбросами меридионального и северо-западного направлений, образующими блоковую структуру. Собственно месторождение локализовано в одном из таких блоков западного крыла антиклинали, сложенном моноклинально падающими на запад алевролитами и песчаниками норийского возраста и ограниченном с запада и востока протяженными меридиональными разломами.

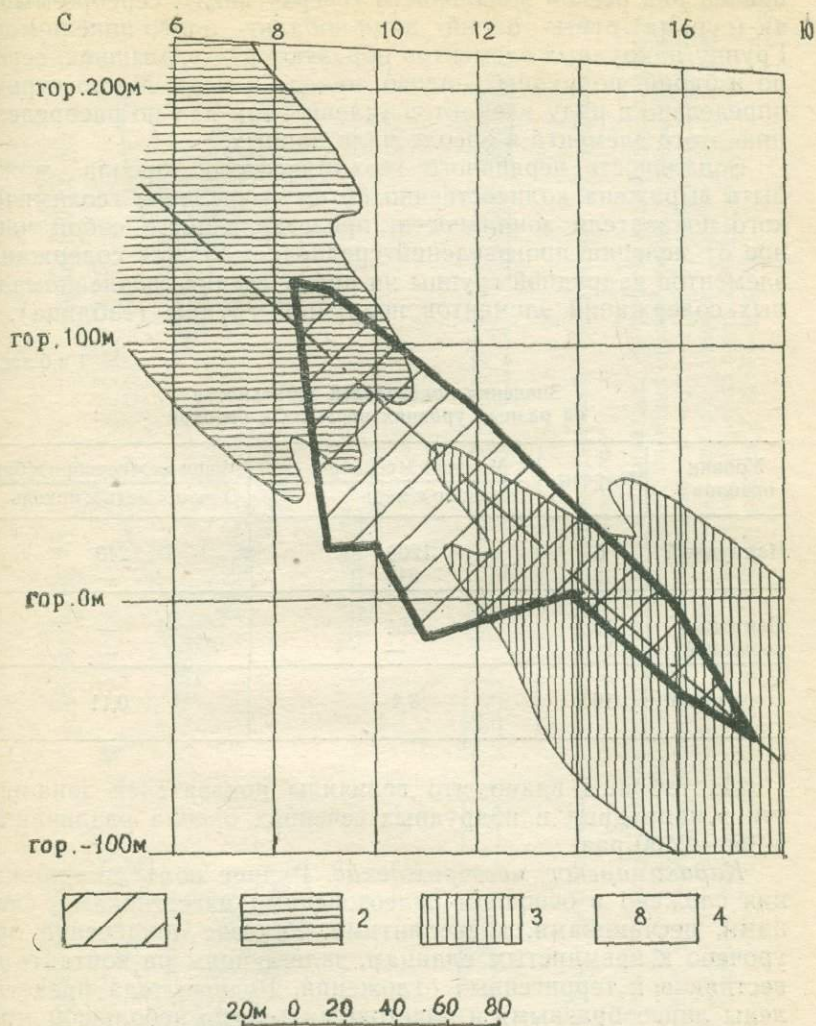
На месторождении разведано несколько сближенных рудных тел. Наиболее крупное из них — штокверкообразная залежь—приурочено к зонам тектонических брекчий в алевролитах и представляет собой выходящее на поверхность столбообразное тело, несколько вытянутое в субмеридиональном направлении, сравнительно круто погружающееся к юго-западу. Размеры залежи 200×150 м в плане, длина по продольной оси порядка 400 м. Второе, «слепое», рудное тело локализовано в песчаниках и представляет собой линзообразную залежь, ограниченную по восстанию подошвой тектонического нарушения. Оно также погружается на юго-запад, изобилует раздувами, «карманами» и ветвится вблизи верхней и нижней выклинок. Длина тела по продольной оси 220 м, мощность в поперечных сечениях 30—60 м, верхняя выклинка находится на глубине 90 м, нижняя—260 м.

Ртутное оруденение носит прожилково-вкрапленный характер. Основные рудные минералы—киноварь, марказит, арсенопирит, жильные—карбонаты, диккит, кварц.

Рудные тела сопровождаются первичными геохимическими ореолами ртути, мышьяка, сурьмы, серебра, свинца, цинка, меди, олова, никеля, кобальта и бария. Ртуть и мышьяк образуют наиболее широкие ореолы высокой контрастности, повторяющие форму рудных тел; размеры их—первые сотни метров. В отличие от сплошных ореолов ртути и мышьяка, ореолы остальных химических элементов отличаются прерывистым характером, слабой контрастностью и сравнительно небольшими размерами. Как правило, все эти ореолы вытянуты по падению и восстанию вмещающих пород.

Для изучения распределения химических элементов в околорудном пространстве нами было выбрано «слепое» рудное тело в песчаниках, так как в ореоле этого рудного тела, в отличие от ореола штокверкообразной залежи, выделяются надрудные (разрезы 6 и 8), центральнорудные (10 и 12) и подрудные (16) сечения. Это позволило рассмотреть осевую зональность первичных ореолов «слепого» рудного тела (фиг. 3). На всех перечисленных разрезах в пределах ореола именно «слепого» рудного тела вычислялись среднеаномальные содержания каждого химического элемента¹. В результате анализа распределения в различных сечениях ореола максимальных величин среднеаномальных содержаний уста-

¹ В связи с прерывистостью ореолов ряда элементов среднеаномальные содержания вычислялись с учетом коэффициента минерализации.



Фиг. 3. Западно-Палаянское месторождение. Схема зонального строения полиэлементного первичного ореола вокруг «слепого» рудного тела в песчанике (продольная проекция на вертикальную плоскость)

1—рудное тело, 2—ореол элементов надрудной группы, 3—ореол элементов подрудной группы, 4—поперечные разрезы и их номера

новлен ряд осевой зональности (сверху вниз): серебро-мышьяк-(сурьма)-ртуть-барий-цинк-кобальт-олово-никель-медь. Группу надрудных элементов образуют ртуть, мышьяк, серебро и барий, подрудных—олово, никель и медь. Место сурьмы определено в ряду элементов условно, так как по распределению этого элемента в ореоле мало данных.

Зональность первичного геохимического ореола может быть выражена количественно путем вычисления геохимического показателя зональности, представляющего собой частное от деления произведений среднеаномальных содержаний элементов надрудной группы на произведения среднеаномальных содержаний элементов подрудной группы (таблица).

Таблица

Значения показателей зональности на разных уровнях первичных ореолов

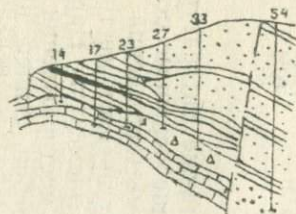
Уровни ореолов	Разрезы	Мышьяк×серебро	Мышьяк×серебро×барий
		Олово×медь	Олово×медь×никель
Надрудный	6	1200	240
	8	340	—
Централь- норудный	10	264	—
	12	—	—
Подрудный	16	3,4	0,11

Из таблицы видно, что величины показателей зональности в надрудных и подрудных сечениях ореола различаются в 350—2400 раз.

Каракамарское месторождение. Рудное поле месторождения сложено в основном палеозойскими известняками, сланцами, песчаниками, гравеллитами. Ртутное оруденение приурочено к кремнистым сланцам, залегающим на контакте известняков и терригенных отложений. Рудные тела представлены линзообразными и пластовыми телами небольшой мощности и содержат, помимо киновари, антимонит, аурипигмент и в меньших количествах—пирит, халькопирит, сфалерит, что указывает на принадлежность этого месторождения к ртутно-сурьмяно-мышьяковой формации.

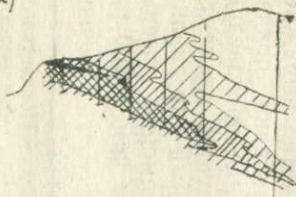
В результате геохимического опробования разведочных скважин по вертикальному разрезу рудного тела выявлены

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ



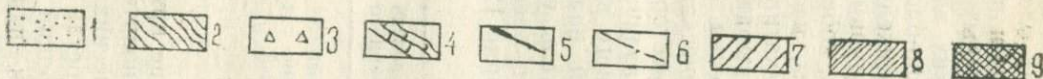
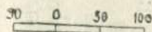
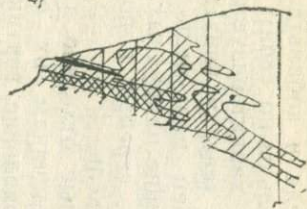
As · Sb · Hg · Ag · Pb

а)



Zn · Cu · Mo · Co · Ni

б)



Фиг. 4. Каракамарское месторождение. Ореолы мультипликативных величин содержаний: а) надрудной и б) подрудной групп элементов

1—песчаники полимиктовые, 2—сланцы углисто-глинистые и кремнистые, 3—брекчия кремнистых сланцев, 4—известняки, 5—рудное тело, 6—тектонические нарушения. Значения произведений содержаний элементов в ореолах в ‰: 7—мышьяк, сурьма, ртуть, серебро, свинец $1 \cdot 10^{-7}$ — $1 \cdot 10^{-16}$, цинк, медь, молибден, кобальт, никель $1 \cdot 10^{-16}$ — $1 \cdot 10^{-15}$; 8—мышьяк, сурьма, ртуть, серебро, свинец $1 \cdot 10^{-16}$ — $1 \cdot 10^{-15}$, цинк, медь, молибден, кобальт, никель $1 \cdot 10^{-15}$ — $1 \cdot 10^{-12}$; 9—мышьяк, сурьма, ртуть, серебро, свинец $1 \cdot 10^{-15}$ — $1 \cdot 10^{-8}$, цинк, медь, молибден, кобальт, никель $1 \cdot 10^{-12}$ — $1 \cdot 10^{-10}$

первичные ореолы большого количества химических элементов. Наиболее контрастные ореолы образуют ртуть, сурьма, мышьяк, серебро, свинец, цинк, медь и молибден. Ореолы вольфрама и особенно олова, никеля и кобальта обладают слабой контрастностью и незначительны по своим размерам.

Зональность первичных ореолов характеризуется следующим рядом химических элементов (сверху вниз): мышьяк-сурьма-ртуть-серебро-олово-свинец-цинк-медь-молибден (вольфрам, кобальт, никель). К группе надрудных элементов относятся: мышьяк, сурьма, ртуть, серебро, а подрудных — цинк, медь, молибден, кобальт и никель.

Первичные ореолы, изображенные отдельно для каждой группы по мультипликативным величинам их содержаний (фиг. 4), отчетливо выражают проявление вертикальной зональности распределения элементов в ореолах описываемых рудных тел. Геохимическая зональность первичного ореола, изученного на этом месторождении, четко выражается также в виде контрастно различающихся величин показателя зональности, вычисленного как отношение произведений линейных продуктивностей надрудной группы элементов к подрудной. Этот показатель, установленный для различных уровней среза первичного ореола, закономерно уменьшается с глубиной на расстоянии 120 м более чем в 260 раз (от скв. 14 к скв. 27; вывод).

№ скважины и уровень ореола относительно рудного тела	Показатель зональности
14, верхнерудный	13,0
17, околорудный	9,1
23, нижнерудный	1,85
27, подрудный	0,05

Приведенные выше примеры, а также литературные данные позволяют установить следующие основные особенности первичных геохимических ореолов месторождений ртути.

1. Элементный состав первичных ореолов месторождений ртути включает широкий комплекс элементов. Наиболее типичными элементами-индикаторами месторождений ртути являются: ртуть, мышьяк, сурьма, серебро, свинец, цинк, медь, кобальт, никель, молибден и олово. Этот комплекс элементов качественно мало отличается от комплекса, характеризующе-

го некоторые другие типы месторождений. Однако характерной особенностью ореолов ртутных месторождений является наличие относительно высоких концентраций ртути, мышьяка и сурьмы.

2. Для отдельных месторождений отмечено наличие в окколорудных пространствах участков, характеризующихся пониженными содержаниями некоторых элементов (в первую очередь бария и стронция).

3. Морфология и размеры первичных ореолов ртутных месторождений имеют много общих черт. Форма первичных ореолов напоминает форму рудных тел, хотя порой более сложна. В первую очередь это относится к полям максимальных концентраций ореолов ртути, которые обычно окаймляют рудные залежи. По своим размерам ореолы превышают рудные тела в 5—10 раз и более. Наибольшие размеры свойственны ореолам ртути, которые как над рудными телами, так и под ними распространяются во все стороны от рудных тел на сотни метров, достигая в вертикальном направлении в отдельных случаях 1—2 км. Размеры ореолов элементов-спутников гораздо меньше (первые сотни метров по простиранию и падению и первые десятки метров по ширине). Ореолы элементов-спутников распространяются всегда в пределах поля развития ореола ртути, тяготея к рудным телам.

4. На изученных ртутных месторождениях рудные тела залегают на небольшой глубине, в связи с этим нигде не удалось полностью проследить вертикальный размах надрудных частей ореолов. По имеющимся данным можно все же предположить, что вертикальная протяженность надрудных ореолов элементов-спутников ртутного оруденения, а следовательно и глубинность метода, составляет не менее 200 м.

5. Первичный комплексный геохимический ореол ртутных месторождений характеризуется вертикальной зональностью, которая выражается в различии распределения элементов по вертикальному разрезу ореола. Эта зональность может быть выражена единым рядом элементов, максимальные концентрации которых последовательно распределяются сверху вниз.

Зональность ореолов может быть также выражена количественно, в величинах геохимического показателя зональности. Эти величины, вычисленные для надрудной и подрудной частей окколорудного пространства, всегда различаются достаточно контрастно (различие достигает 3—6 порядков).

Рассмотрение перечисленных выше особенностей первичных (эндогенных) геохимических ореолов ртутных месторож-

дений показывает, что некоторые из этих особенностей являются важными геохимическими критериями, которые с успехом могут быть использованы при поисках месторождений ртути.

Одной из важнейших задач, возникающих при поисках с использованием геохимических методов, является разбраковка и оценка выявленной геохимической аномалии. При этом в первую очередь приходится решать следующие основные вопросы:

а) какова природа геохимической аномалии (рудная или «ложная» аномалия?);

б) каков тип рудной минерализации, обусловившей образование аномалии;

в) каков уровень среза первичного ореола, обнаруженного в виде геохимической аномалии, по отношению к различным частям рудного тела.

Из изложенного материала следует, что геохимическая аномалия, обусловленная рудообразующим процессом, должна характеризоваться аномальными концентрациями целого комплекса рудных элементов. Следовательно, геохимическая аномалия группы элементов-индикаторов рудоносности может быть признана как первичный ореол рудного тела, если она выявлена в коренных породах, или как его вторичный ореол рассеяния, если аномалия выявлена в почвах или рыхлых отложениях, а также в растениях, донных осадках и водных источниках. Таким образом, комплексность состава геохимической аномалии является критерием для определения ее природы.

После разбраковки выявленных геохимических аномалий и выделения среди них рудных, для последних решается вопрос о типе рудной минерализации предполагаемого рудного тела, первичный ореол которого обусловил аномалию. Как было показано выше, первичные ореолы ртутных рудных тел характеризуются определенным комплексом элементов-индикаторов. Необходимо только учитывать важную особенность первичных ореолов ртутных рудных тел, заключающуюся в том, что для них, как правило, характерны существенно повышенные содержания ртути, мышьяка и сурьмы по сравнению с концентрациями других элементов-спутников.

Следующим важным геохимическим критерием, используемым для оценки рудных геохимических аномалий, являются особенности зонального строения первичных ореолов и количественное их выражение в виде величин показателей зональ-

ности. Отношение содержаний или линейных продуктивностей группы надрудных элементов к таковым же для группы подрудных элементов в аддитивном или мультипликативном выражении позволяет достаточно достоверно оценить уровень среза первичного ореола, выявленного в виде геохимической аномалии, по отношению к уровню рудного тела, а для рудных тел, вскрытых эрозией или разведочными выработками, по отношению к уровню его выклинивания на глубине.

Этот последний геохимический критерий с успехом может быть использован не только при поисках ртутных тел на поверхности но также для оценки перспектив рудоносности глубоких горизонтов рудопроявлений и разведываемых месторождений.

В заключение необходимо отметить, что, хотя практических результатов по проверке разработанных критериев получено еще недостаточно, однако можно с уверенностью сказать, что использование этих критериев позволит значительно увеличить эффективность разбраковки и оценки выявленных при поисках геохимических аномалий и тем самым существенно содействовать расширению сырьевой базы ртути.

Для еще большего повышения эффективности геохимических методов поисков ртутных месторождений нам представляется необходимым решение следующих основных методических вопросов.

1. Выявление количественных критериев определения ртутной рудной формации.

2. Выявление и определение значения и роли каждого химического элемента, образующего первичный ореол около ртутных рудных тел, при выявлении и оценке геохимических аномалий.

3. Совершенствование количественных критериев оценки уровней среза первичного ореола относительно различных частей ожидаемого рудного тела и выявление критериев глубины их залегания относительно интерпретируемого среза.

4. Разработка геохимических критериев, позволяющих отличать геохимические аномалии, обусловленные богатым оруденением, от убогой рудной вкрапленности и рассеянной минерализации.

5. Повышение глубинности геохимического метода поисков скрытого ртутного оруденения по первичным геохимическим ореолам путем детального их изучения на объектах с большой протяженностью надрудных зон этих ореолов.

6. Изучение корреляционной связи и зависимости пара-

метров первичных и вторичных литогеохимических ореолов с целью разработки геохимических критериев разбраковки и оценки геохимических аномалий, выявляемых в почвах и рыхлых отложениях, при поисках скрытых и перекрытых ртутных рудных тел.

Скорейшее решение всех этих методических вопросов позволит значительно увеличить эффективность поисковых и разведочных работ в девятом пятилетии и создать прочную сырьевую базу ртутной промышленности на последующие периоды.

ЛИТЕРАТУРА

- Айдикьян Н. Х., Троицкий А. И., Белавская Г. А.* Распределение ртути в различных почвах СССР и Вьетнама. — Геохимия, 1964, № 7.
- Большаков А. П.* О вторичных ореолах рассеяния на ртутных месторождениях Никитовского района. — Геохимия, 1964, № 12.
- Вершковская О. В.* Первичные ореолы рассеяния ртути как поисковый признак ртутно-сурьмяных месторождений. — Разведка и охрана недр, 1956, № 4.
- Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд-во АН СССР, 1957.
- Григорян С. В., Янишевский Е. М.* Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений и их использование при поисках скрытого оруденения. Изд-во «Недра», 1968.
- Григорян С. В.* Первичные геохимические ореолы гидротермальных месторождений, методы их изучения и практическое использование. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. 1971.
- Григорян С. В., Гулиев Г. Г., Зубов М. А.* и др. О значении литогеохимических ореолов при интерпретации газортутных аномалий. В сб. «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», вып. 5. Изд. ИМГРЭ, 1971.
- Грицюк Я. М.* К геохимии бария и стронция в гидротермальном процессе. В сб. «Вопросы геохимии, минералогии, петрологии и рудообразования». Тезисы докладов конференции молодых специалистов ИГФМ УССР. Киев, 1970.
- Загоскин В. А., Шиманский А. А.* Иркутское геологическое управление. В сб. «Геохимические поиски рудных месторождений». Материалы семинара «Эффективность методов поисков рудных месторождений и широкое внедрение их в практику геологической службы СССР». Изд. ИМГРЭ, 1969.
- Озерова Н. А.* Первичные ореолы рассеяния ртути. — Труды ИГЕМ, вып. 72, кн. IV. Вопросы геохимии, 1962.
- Роговой В. М.* Геохимические методы при поисках ртутного оруденения в условиях Корякского нагорья и Камчатки. В сб. «Геология и полезные ископаемые Корякского нагорья и Камчатки». — Труды ВЗПИ, вып. 68, 1971.
- Сауков А. А.* Геохимия ртути. Изд-во АН СССР, 1946.

Суеркулов Э. А. Методика геохимических поисков ртутных месторождений трещинного типа в условиях высоких предгорий Алай-Туркестанского хребта. Автореферат на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, 1970. ~

Терехова Г. А. Первичные ореолы рассеяния некоторых ртутно-сурьмяных месторождений согласного типа. Обзор ОНТИ-ВИЭМС, 1966, вып. 1.

Федорчук В. П. Методика поисков и разведки скрытого ртутно-сурьмяного оруденения. Изд-во «Недра», 1964.

Фурсов В. З. Сорбированные ореолы ртути над погребенными ртутными месторождениями. — Доклады АН СССР, т. 169, 1966, № 2.

О ГЕОХИМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЯХ РАЗБРАКОВКИ ЗОН РАССЕЯННОЙ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

Многолетний опыт геологоразведочных работ в различных районах страны показывает, что в каждом рудном районе встречаются многочисленные рудопроявления и геохимические аномалии, представленные зонами рассеянной рудной минерализации (ЗРМ). Последние представляют собой образовавшиеся в результате воздействия на вмещающие породы рудообразующих флюидов зоны повышенных по сравнению с фоном концентраций элементов-индикаторов данного типа оруденения, однако само оруденение в этих зонах по масштабам недостаточно для промышленного освоения (в данных условиях). Во многих случаях подобные рудопроявления встречаются в условиях, благоприятных для локализации промышленного оруденения, что нередко служит основанием для вовлечения подобных участков в сферу детальных поисковых и разведочных работ. Отсутствие надежных критериев определения зон рассеянной рудной минерализации не позволяет произвести их разбраковку на начальной стадии поисковых работ, что приводит к значительным денежным затратам, связанным с последующими детальными работами, включающими проходку дорогостоящих горных выработок и буровых скважин.

Зоны рассеянной рудной минерализации являются препятствием при геохимических поисках слепого оруденения. Как известно, поиски слепых рудных тел и месторождений производятся путем обнаружения их надрудных геохимических ореолов, которые, как и зоны рассеянной рудной минерализации, характеризуются низкими, обычно субкларковыми кон-

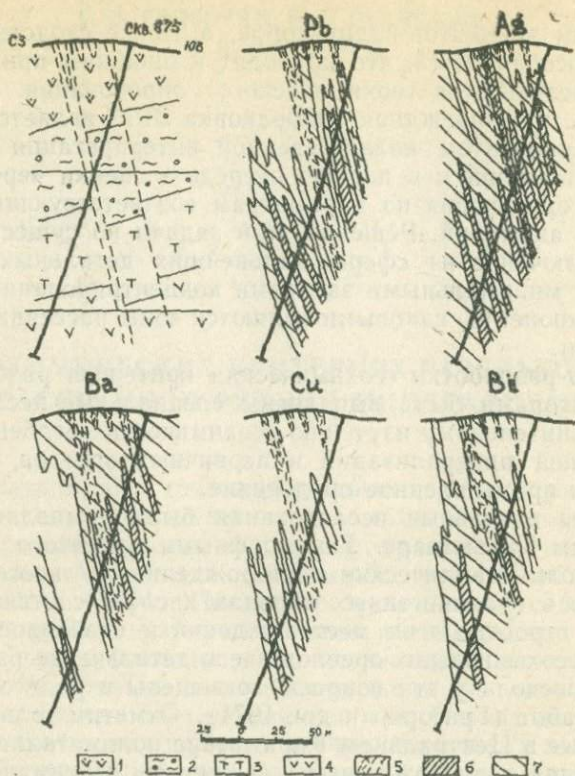
центрациями элементов-индикаторов, а также сходством ряда других особенностей, что приводит к ошибкам при интерпретации результатов геохимического опробования. Следует отметить, что надежная разбраковка ЗРМ является важнейшим компонентом количественной интерпретации геохимических аномалий и в первую очередь — оценки вероятных масштабов оруденения по параметрам соответствующих геохимических аномалий. Решение этой задачи по существу означает исключение из сферы дальнейших детальных работ аномалий с минимальными запасами концентрированного полезного компонента, каковыми являются зоны рассеянной минерализации.

С целью разработки геохимических критериев разбраковки ЗРМ авторами были выполнены специальные исследования по сравнительному изучению геохимических особенностей зон рассеянной минерализации и первичных ореолов, сопровождающих промышленное оруденение.

Наиболее детальные исследования были выполнены в Центральном Кармазаре. Типоморфными для этого района являются полиметаллические месторождения жильного типа, залегающие в вулканогенных породах кислого состава. Геологическое строение этих месторождений и особенности их первичных геохимических ореолов здесь детально не рассматриваются, поскольку эти вопросы освещены в ряде опубликованных работ (Григорян и др., 1971). Отметим только, что все известные в Центральном Кармазаре полиметаллические месторождения сопровождаются первичными геохимическими ореолами широкого круга химических элементов. В строении ореолов выявляется отчетливая вертикальная зональность, которая выражается в закономерной дифференциации элементов в околорудном пространстве: наиболее широкие и интенсивные ореолы бария и серебра развиваются на верхних частях рудоносных зон, с глубиной ореолы этих элементов сужаются при одновременном расширении ореолов других элементов, таких как кобальт, медь, молибден, вольфрам.

Сравнение результатов геохимического опробования коренных пород на участках развития зон рассеянной минерализации и ореолов промышленного оруденения показало, что эти типы аномалий характеризуются идентичным элементарным составом, а также близкими концентрациями элементов-индикаторов. В морфологии аномалий этих типов, оконтуренных в плане, существенных различий также не выявляется.

Изучение геохимических аномалий, представленных ЗРМ

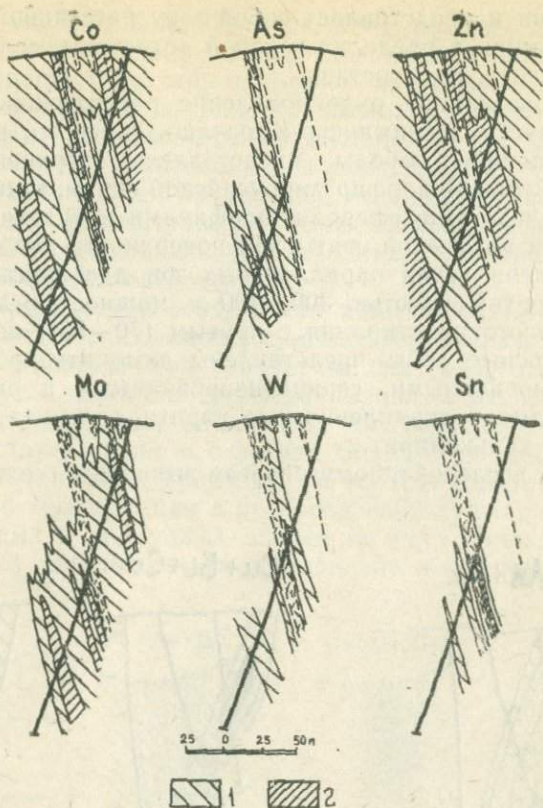


Фиг. 1. Распределение элементов-индикаторов по разрезу через рудопоявление Кызылташ-Кокчегиртке

1—андезитовые порфиры, 2—флюидалные фельзиты и сферолит-порфиры, 3—туфы и туфолавы, 4—андезитовые и андезиодацитовые порфиры, 5—зоны дробления и разрывные нарушения. Содержания элементов в аномалиях (%): 6—свинец и медь 0,005—3,015, серебро 0,00009—0,0001, барий 0,01—0,1, висмут 0,0001—3,001; 7—свинец и медь >0,015, серебро >0,0001, барий >0,1, висмут >0,001

и ореолами промышленного оруденения, в разрезе позволило установить их некоторые различия.

На фиг. 1, 2 изображены аномальные поля основных элементов-индикаторов полиметаллических месторождений Цент-



Фиг. 2. Распределение элементов-индикаторов в по-
разрезу через рудопоявление Кызылташ-
Кокчегиртке

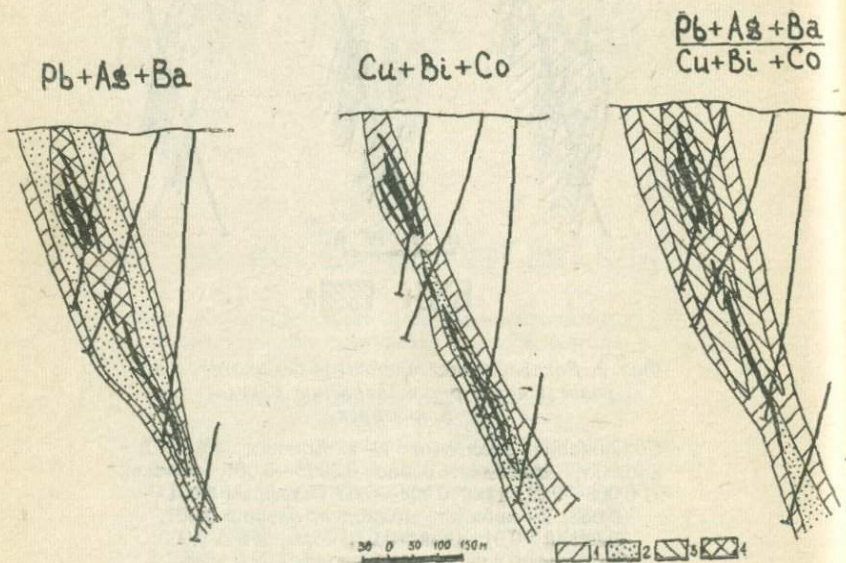
Содержание элементов в аномалиях (%): 1—
кобальт, молибден, олово 0,0003—0,001, мышьяк
0,005—0,01, цинк 0,008—0,03 вольфрам 0,001—
0,003; 2—кобальт, молибден, олово > 0,001,
мышьяк > 0,01, цинк > 0,03; вольфрам > 0,003.
Остальные условные обозначения см. фиг. 1

рального Кармазара, выявленные по разрезу через рудопоявления Кызылташ-Кокчегиртке. Как установлено детальным изучением поверхности, а также разведкой глубоких горизонтов, данное рудопоявление не содержит промышленного ору-

деления и представляет собой зону рассеянной рудной миперализации, в пределах которой встречены мелкие тела полиметаллического состава.

Описываемое рудопроявление расположено в юго-западной части Канимансур-Караташкатынского рудного поля. Вмещающие породы представлены верхнекушайнакскими андезитовыми порфирами оясайской свиты, тонкофлюидальными фельзитами, сферолит-порфирами и андезитовыми порфиритами надакской свиты. На поверхности рудопроявления установлена серия параллельных зон дизъюнктивных нарушений протяженностью 300—400 м, мощностью до 10 м северо-восточного простирания с крутым (70—85°) падением на юг. Рудоносные зоны представлены лимонитизированными, хлоритизированными, серицитизированными и окварцованными породами с вкрапленностью пирита, галенита, сфалерита и редко халькопирита.

По исследованному разрезу выявлены геохимические ано-

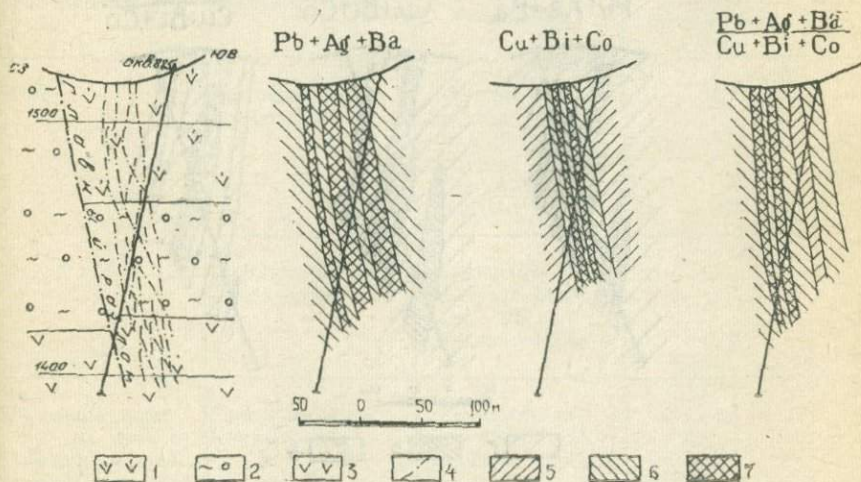


Фиг. 3. Аддитивные ореолы по разрезу через рудопроявление Кзылташ-Кокчегиртке

Содержания (суммарные) элементы в единицах геохимического фона: 1—6—20, 2—>20. Величины аддитивного показателя: 1—1—5, 2—>5, ☞—зоны дробления и разрывные нарушения

малии всех элементов-индикаторов, типоморфных для полиметаллических месторождений исследованного района. Прежде всего обращает на себя внимание чрезвычайно пестрый характер выявленных по разрезу аномалий, обусловленный наличием серии разрозненных аномальных полей элементов. Примечательно, что основная рудоносная зона, в отличие от ореолов промышленного оруденения, не фиксируется полями максимальных концентраций элементов-индикаторов (см. фиг. 1, 2). Эта особенность особенно отчетливо проявлена в строении суммарных ореолов (фиг. 3).

Другая характерная особенность аномалий описываемого разреза—практически полное отсутствие вертикальной зональности в их строении. Как следует из фиг. 1, 2, отсутствует сколько-нибудь заметная дифференциация в распределении надрудных и подрудных элементов. Вертикальная зональность отсутствует также в строении суммарных ореолов (аддитивных; Овчинников, Григорян, 1970). Как следует из фиг. 3, отчетливой дифференции в распределении суммарных ореолов надрудных и подрудных элементов не устанавливается. Вертикальная зональность не установлена и в строении орео-



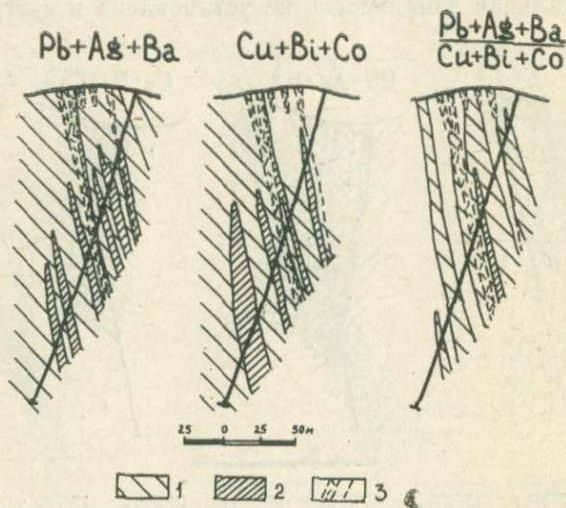
Фиг. 4. Геохимические аномалии зоны Оперяющей

1—хвощевые порфиры, 2—сферолит-порфиры, 3—андезитовые порфиры,
 4—зоны разрывных нарушений. Содержания (суммарные) элементов (в
 единицах геохимического фона): 5—С—20; 6—2С—30; 7—более 30.
 Величины аддитивного показателя: 5—1,5—3,0; 6—2—5; 7—более 5.

лов, оконтуренных по величине их аддитивного показателя (отношение по каждой пробе сумм содержаний надрудных и подрудных элементов; см. фиг. 3).

Аналогичные закономерности в распределении элементов-индикаторов установлены на участке Оперяющем, также представленном зоной рассеянной полиметаллической минерализации (фиг. 4).

В отличие от зон рассеянной минерализации, в ореолах, сопровождающих концентрированное промышленное оруденение, постоянно устанавливается контрастная вертикальная зональность, подробно описанная в ряде публикаций (Каблуков, Вертепов, 1960; Овчинников, Григорян, 1970). В качестве примера на фиг. 5 приведены первичные геохимические ореолы (суммарные) вокруг рудных тел полиметаллического месторождения Восточный Канимансур (Центральный Карамазар). Как видно из фиг. 5, в строении частных суммарных (аддитивных) ореолов выявляется контрастная зональность, которая фиксируется также с помощью аддитивного показателя.



Фиг. 5. Аддитивные ореолы по разрезу через Главную зону месторождения Вост. Канимансур

Суммарное содержание элементов (в единицах геохимического фона): 1—5—20; 2—20—100; 4—более 100. Величина аддитивного показателя:

1—0,1—1,0; 2—1—3; 3—3—10; 4—более 10

Отличие описанных выше зон рассеянной полиметаллической минерализации от ореолов промышленного оруденения по характеру зональности подтверждается данными соответствующих расчетов. В табл. 1 приведены величины отношения линейных продуктивностей частных суммированных аномалий для элементов-индикаторов участка Кызылташ-Кокчегиртке. Этот параметр рассчитан для трех гипсометрических уровней: 1490 м (поверхность), 1400 м (по верхней части скважины) и 1330 м (нижняя часть скважины). По второму участку (зона Оперяющая) расчеты выполнены для двух уровней (поверхность и скважина). Как следует из табл. 1, изменение с глубиной величины указанного параметра не является существенным (не выходит за пределы точности расчетов), что свидетельствует об отсутствии в строении зон рассеянной рудной минерализации отчетливой вертикальной зональности. При-

Таблица 1

**Величины отношений
линейных продуктивностей аддитивных аномалий**

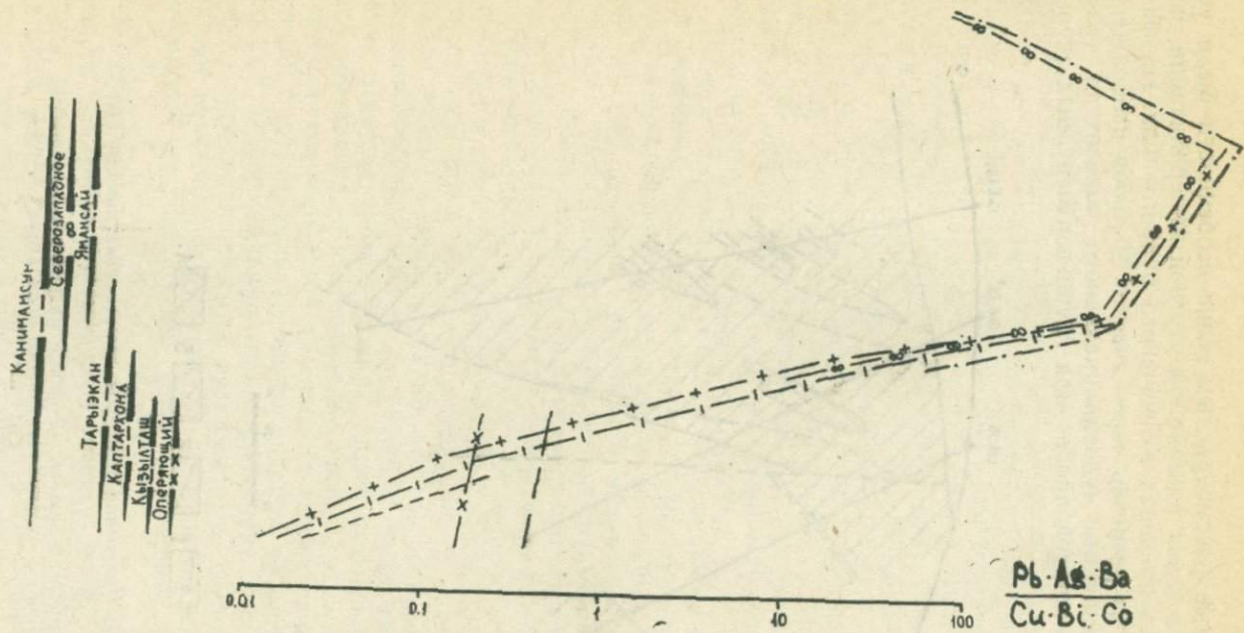
Тип аномалий	Название участка	Местоположение аномалий	Отношение линейных продуктивностей
ЗРМ	Рудопроявление Кокчегиртке	Поверхность (горизонт 1490)	1,2
		Скв. 873 (горизонт 1400)	1,3
		Скв. 873 (горизонт 1330)	0,9
	Рудопроявление Оперяющий	Поверхность (горизонт 1450) Скв. 885 (горизонт 1350)	1,7 2,2
Первичные ореолы на уровне нижних частей промышленного оруденения	Месторождение Каптархона	Поверхность профиль IV—IV (горизонт 1550)	1,4
	Месторождение Капимансур	Скв. 659	1,1
	Месторождение Тарызкан	Скв. 79	0,81

мечательно, что по абсолютной величине индикаторного отношения любое из исследованных сечений ЗРМ соответствует первичным геохимическим ореолам, развитым на уровне нижних частей промышленного оруденения (см. табл. 1).

Различия первичных ореолов промышленного оруденения от зон рассеянной рудной минерализации наиболее наглядно фиксируются совмещенными графиками изменения по вертикали отношений параметров частных суммарных ореолов, как аддитивных, так и мультипликативных. На фиг. 6 приведены: графики отношений линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов, построенных как для первичных ореолов промышленного оруденения (месторождения Вост. Канимансур, Северо-западное, Ямансай, Тарызкан, Каптархона), так и зон рассеянной минерализации (Кызылтай—Кокчегиртке, Оперяющая). Как видно из фиг. 6, на ту же глубину по ореолам, развитым вокруг рудных тел промышленного значения, в отличие от зон рассеянной минерализации, устанавливается весьма контрастное изменение с глубиной величины индикаторного отношения.

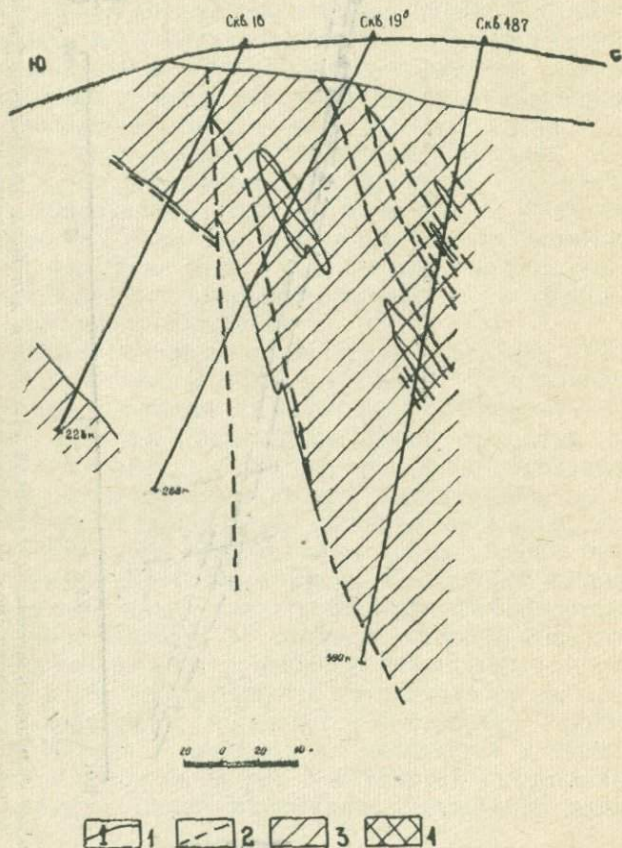
Как уже отмечалось, существенные различия между ЗРМ и ореолами промышленного оруденения устанавливается, если построить аномалии по величине аддитивного показателя, который представляет собой отношение сумм содержаний (в единицах геохимического фона) приведенных выше групп элементов-индикаторов, рассчитанное по каждой пробе. На фиг. 5 изображены подобные аномалии, околтуренные изолиниями по разрезу через промышленное оруденение месторождения Вост. Канимансур. Как видно, максимальными значениями аддитивного показателя фиксируются рудные тела, по мере удаления от которых в стороны висячего и лежащего боков разреза происходит закономерное уменьшение величины этого показателя, что обуславливает появление контрастной поперечной зональности в строении околорудных ореолов. Наряду с поперечной, выявляется и вертикальная зональность, которая на фиг. 5 фиксируется отчетливым сдвигом по разрезу полей максимальных значений аддитивного показателя.

В зонах рассеянной минерализации картина другая: как следует из фиг. 3, 4, в аномалиях ЗРМ отсутствует вертикальная зональность, а поперечная зональность отлична от зональности ореолов промышленного оруденения. В ЗРМ контрастное возрастание аддитивного показателя к центру аномалий не наблюдается.



Фиг. 6. Совмещенные графики изменения с глубиной отношения линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов промышленного оруденения и зон рассеянной минерализации

Аналогичные рассмотренным выше особенности были установлены и в зонах рассеянной ртутной минерализации, исследованных в пределах Кончочского рудного поля. На фиг. 7 по одному из разрезов через участок Чальбон изображено изменение величины мультипликативного показателя (расчитанного в каждой пробе) для групп верхнерудных (сурь-



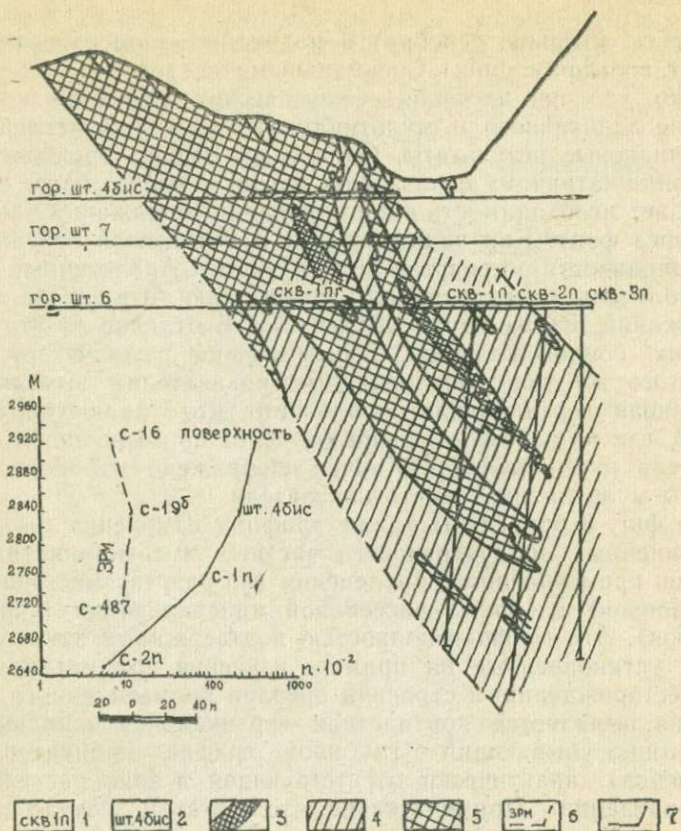
Фиг. 7. Изменение величины мультипликативного показателя по разрезу через участок Чальбон

1—уровые скважины, 2—зоны разрывных нарушений.
 Величины мультипликативного показателя: 3—0.1—1.0; 4— ≥ 1.0

ма, ртуть, мышьяк, серебро) и подрудных элементов (медь, висмут, вольфрам, цинк). Специальными исследованиями установлено, что при изучении геохимических аномалий использование аддитивного и мультипликативного показателей даст одинаковые результаты. Однако мы отдаем предпочтение мультипликативному показателю, расчет которого более прост (отпадает необходимость в нормировании содержаний элементов через фон). Как видно из фиг. 7, отчетливой вертикальной зональности по разрезу не выявляется. Аналогичные данные получены по аддитивному показателю (отношение сумм содержаний тех же групп элементов). В отличие от этого, в ореолах, сопровождающих промышленное ртутное оруденение этого же типа, по указанным показателям выявляется отчетливая вертикальная зональность, что иллюстрируется фиг. 8, где по одному из разрезов через промышленные рудные тела месторождения Кончоч изображено изменение величины мультипликативного показателя.

На фиг. 8 приведены также графики изменения с глубиной линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов промышленного оруденения (по разрезу месторождения Кончоч) и зоны рассеянной минерализации (участок Чальбон). Эти графики полностью подтверждают закономерности, установленные на примере изучения полиметаллических месторождений: в строении ореолов промышленного оруденения выявляется контрастная вертикальная зональность (монотонно убывающий с глубиной график индикаторного отношения), практически отсутствующая в зоне рассеянной минерализации. Примечательно, что и в этом случае зона рассеянной минерализации по величине индикаторного отношения отвечает уровню нижних частей промышленного ртутного оруденения, и это позволяет считать, что, по-видимому, отсутствующие геохимической зональности свойственно зонам рассеянной гидротермальной минерализации вообще, безотносительно к их формационной принадлежности. Этот вывод подтверждается аналогичными результатами, полученными на примере изучения ряда оловорудных, медноколчеданных и золоторудных месторождений (устное сообщение Л. Н. Бельчанской, Г. Л. Рубо и И. И. Силина).

Рассмотренные выше специфические особенности распределения элементов-индикаторов в пределах зон рассеянной рудной минерализации могут быть использованы при интерпретации результатов литогеохимического опробования для отличия зон рассеянной рудной минерализации от аномалий,



Фиг. 8. Изменение по разрезу величины мультипликативного показателя и графики изменения с глубиной величин отношения линейных продуктивностей ореолов частных мультипликативных ореолов
 1—буровые скважины, 2—штольни, 3—рудные тела. Величины мультипликативного показателя: 4—0,1—1,0; 5—>1,0. Графики отношения линейных продуктивностей частных мультипликативных ореолов: 6—зона рассеянной минерализации (участок Чальбон), 7—ореолы промышленного оруденения

представленных ореолами промышленного оруденения. Таким критерием прежде всего может служить отсутствие у первых вертикальной контрастной зональности. Очевидно, что для этого необходимо располагать данными, характеризующими распределение элементов, как минимум, на двух горизонтах,

т. е. там, где имеются скважины или подземные горные выработки.

Когда имеются данные только по одному уровню, выделение аномалий, представленных зонами рассеянной минерализации, может быть осуществлено, исходя из характера горизонтальной зональности, выявляемой с помощью аддитивного или мультипликативного показателя. Зоны рассеянной минерализации, как уже отмечалось, отличаются от ореолов промышленного оруденения чрезвычайно слабоконтрастной горизонтальной зональностью.

Как уже отмечалось, при интерпретации выявленных при поисках геохимических аномалий наиболее опасной в практическом отношении ошибкой является отнесение зон рассеянной минерализации в разряд надрудных или верхнерудных геохимических ореолов, перспективных на слепое и слабоэродированное оруденение и подлежащих разведке. Ошибочное отнесение зон рассеянной минерализации в разряд подрудных (или нижерудных) ореолов не приведет к ошибке в оценке перспектив их рудоносности: как те, так и другие оцениваются отрицательно и исключаются из сферы последующих разведочных работ. Остается еще один возможный вариант ошибочной оценки зон рассеянной минерализации, а именно: отнесение их в разряд ореолов, развитых на уровне средних частей промышленного оруденения. Очевидно, что такие ошибки менее вероятны, так как в подобных случаях на поверхности должны быть установлены выходы промышленных руд, отсутствующих в зонах рассеянной минерализации. Именно благодаря этому ореолы, развитые на уровне промышленного оруденения, отличаются от ЗРМ существенно большими значениями суммарного среднеаномального содержания элементов-индикаторов, в число которых входят основные компоненты руд (в данном случае свинец, серебро, медь, висмут).

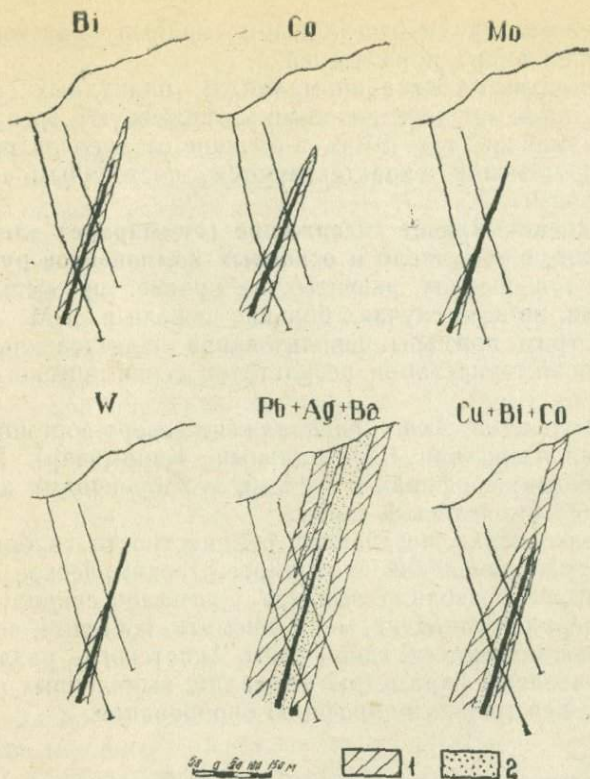
Таким образом, мы приходим к выводу, что успешное решение проблемы определения зон рассеянной минерализации требует прежде всего разработки эффективных критериев их отличия от надрудных и верхнерудных ореолов промышленного оруденения. Последние, как известно, отличаются несравненно более высокими значениями отношений параметров ореолов надрудных и подрудных элементов. Следует, однако, отметить, что графики обычно используемых на практике индикаторных отношений не всегда являются монотонными и часто в надрудных частях образуют «перегибы», что особенно характерно для тех случаев, когда в суммировании участ-

вуют основные компоненты руд (олово на оловорудных месторождениях, свинец и цинк на полиметаллических и т. д.). Именно такой случай изображен на фиг. 6, где графики слепых полиметаллических месторождений Ямансай и Северо-западное в надрудной части фиксируют уменьшение индикаторного отношения по восстанию рудных тел. В подобных случаях надрудные ореолы от зон рассеянной минерализации достаточно просто отличить по элементному составу: в них практически будет отсутствовать типичные подрудные элементы (висмут, кобальт, вольфрам и др.), тогда как в зонах рассеянной минерализации практически на всех уровнях присутствуют все элементы-индикаторы, образуя аномалии примерно одинаковой контрастности (см. фиг. 1, 2, 4). Для иллюстрации этого положения на фиг. 9 приведены частные аддитивные ореолы надрудных и подрудных ореолов вокруг слепого оруденения полиметаллического месторождения Ямансай. Как видно, на поверхности над слепым оруденением фиксируются широкие и интенсивные ореолы только надрудных элементов при практически полном отсутствии ореолов подрудных (из подрудных зафиксирована только медь, тогда как аномальные содержания висмута, кобальта, молибдена и вольфрама в надрудной части ореолов отсутствуют).

В тех случаях, когда аномалии представлены верхнерудными сечениями ореолов или же ореолами, развитыми на минимальном удалении (по вертикали) от рудных тел, по одному элементному составу не всегда удается произвести разбраковку зон рассеянной минерализации, поскольку в этих ореолах наряду с надрудными индикаторами обычно присутствуют и элементы, типоморфные для более глубоких срезов ореолов. В подобных случаях наиболее надежно использованные отношения параметров ореолов надрудных и подрудных элементов. Как следует из фиг. 6, по величине индикаторных отношений первичные ореолы, развитые на уровне верхних частей промышленного оруденения и выше, существенно отличаются от любых сечений зон рассеянной минерализации; последние характеризуются весьма низкими значениями индикаторных отношений.

Таким образом, исходя из рассмотренных выше различий ореолов промышленного оруденения и ЗРМ, можно наметить следующие критерии разбраковки ЗРМ.

1. Вертикальная зональность. В ЗРМ она, в отличие от ореолов промышленного оруденения, практически отсутствует.



Фиг. 9. Первичные ореолы слепого оруденения (месторождение Ямансай)

Содержание элементов в ореолах (%): висмут—0,0001—0,0003; кобальт—0,0003—0,001; молибден—0,0003—0,001; вольфрам—0,001—0,003. Суммарное содержание элементов (в единицах геохимического фона): 1— ϵ —20, 2— >20

2. Отношения параметров и, в частности, продуктивностей надрудных и подрудных ореолов. По величине этих отношений ЗРМ резко отличаются от перспективных на слепое и слабоэродированное оруденение ореолов (для ЗРМ характерны постоянные и существенно низкие по значениям индикаторные отношения).

3. Поперечная зональность, выявляемая с помощью мультипликативного или аддитивного показателей. В ореолах промышленного оруденения, в отличие от ЗРМ, рудовещаю-

щие зоны выделяются отчетливыми полями максимальных значений указанных показателей.

4. **Элементный состав аномалий.** В надрудных ореолах промышленного оруденения обычно отсутствуют ореолы подрудных элементов, т. е. ЗРМ, в отличие от ореолов промышленного оруденения, характеризуются постоянным элементным составом.

5. **Среднеаномальное содержание (суммарное) элементов-индикаторов, в том числе и основных компонентов руд.** Это содержание в ореолах, развитых на уровне промышленного оруденения, во всех случаях больше, нежели в ЗРМ.

Рассмотрим примеры использования перечисленных критериев при интерпретации результатов геохимического опробования.

Рудопроявление Акпет расположено северо-восточнее месторождения Тырыэкан (Центральный Кармазар). Участок сложен фельзит-порфирами, туфами, туфобрекчиями и сферолит-порфирами оясайской свиты.

С целью оценки перспектив рудоности глубоких горизонтов рудопроявления проводилось геохимическое опробование, которое позволило выявить аномалии свинца, цинка, бария, серебра, молибдена, меди, висмута, кобальта, вольфрама, прослеживающиеся вдоль зоны Акпетского разлома. В табл. 2 приведены параметры аномалий, выявленных на этом участке по центральному профилю опробования.

Таблица 2

Геохимические параметры аномалий на участке Акпет

Рудопроявление	Среднеаномальное содержание элементов		Отношение линейных продуктивностей $\frac{Pb+Ag+Ba}{Cu+Bi+Co}$	Природа аномалии
	$(Pb+Ag+Ba)$	$(Cu+Bi+Co)$		
Акпет	31,5	14	0,4	Рассеянная минерализация
Кызылташ, эталонный разрез	28	15	1,1	Рассеянная минерализация

Как видно из приведенной таблицы, рассматриваемая аномалия по геохимическим параметрам является аналогом зон рассеянной минерализации. На это указывает близость зна-

чений параметров геохимических аномалий исследованного участка и подробно описанного выше рудопроявления Кызылташ, представленного зоной рассеянной минерализации. На основании этих данных перспективы рудоносности рудопроявления были оценены отрицательно и дана рекомендация о снятии с участка первоначально предусмотренных в значительном объеме разведочных работ. В последующем, несмотря на отрицательную оценку, на участке все же были пробурены три скважины в местах наиболее интенсивного проявления рудной минерализации. Все эти скважины на различных глубинах вскрыли рудоносную зону без оруденения, полностью подтвердив оценку, данную в результате интерпретации данных геохимического опробования. Последующее геохимическое опробование керна пробуренных скважин существенных изменений с глубиной параметров аномалий не установило, подтвердив тем самым рассеянную природу установленной на участке полиметаллической минерализации.

Участок Южный Тарызкан находится в 1—1,5 км к югу от месторождения Тарызкан. На участке широко развиты туфы и туфолавы фельзит-порфиров оясайской свиты, прорванных дайками диабазовых порфиритов.

Основной рудоносной зоной участка является тектоническая зона Южная, северо-восточного простирания, общей протяженностью около 1,5 км. Рудная зона Южная представлена окварцованными, хлоритизированными и серицитизированными породами, пронизанными кварцевыми прожилками, несущими вкрапленность халькопирита, пирита, висмутина и гематита; местами установлены также повышенные содержания свинца и серебра.

Для оценки перспектив рудоносности данного участка на глубину производилось геохимическое опробование коренных пород. В результате были выявлены аномалии типоморфных для полиметаллического оруденения элементов-индикаторов. По величинам индикаторного отношения уровень эрозионного среза выявленных аномалий отвечал уровню ниже средних частей промышленного оруденения. Однако отсутствие на участке выходов промышленных руд и низкие значения среднеаномальных содержаний элементов-индикаторов (табл. 3) указывали, что выявленные аномалии, вероятнее всего, представлены зоной рассеянной минерализации и малоперспективны на глубину. Несмотря на отрицательную оценку, на участке была пробурена одна скважина (скв. 9), которая на глубине 370 м вскрыла зону Южную без оруденения, под-

Параметры аномалий на участке Южный Тарыэкан

Название участка	№ профиля или скважина	Среднеаномальное содержа- ние элементов		Отношение линейных продук- тивностей $\frac{Pb+Ag+Ba}{Cu+Co+Bi}$	Природа аномалий	
		(Pb+Ag+Ba)	(Cu+Co+Bi)			
Южный Тарыэкан	II—II	14	24	0,26	Рассеянная минера- лизация	
	III—III	28	19	0,67		
	IV—IV	17	44	0,61		
	Скв. 9	33	22	1,3		
Эталонные разрезы	Месторожде- ние Кантар- хона	Скв. 62	—	—	0,12	Нижние части мед- новисмутового оруденения
	Рудопроявле- ние Кызыл таш	Скв. 873	—	—	1,7	Рассеянная минера- лизация

твёрдив правильность интерпретации результатов геохимического опробования.

Выше были рассмотрены только рекомендации, проверенные последующим бурением. Кроме того, с помощью рассмотренных выше критериев многие рудопроявления и геохимические аномалии были признаны зонами рассеянной минерализации и исключены из сферы последующих детальных поисковых и разведочных работ.

В заключение отметим, что рассмотренные выше геохимические различия первичных ореолов промышленного оруденения и зон рассеянной минерализации представляют собой результат первого опыта в этой области и в последующем должны быть уточнены и проверены для других по составу и условиям локализации рудных месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

Григорян С. В., Гулиев Г. Г., Морозов В. И., Оганесян Р. Г. Использование первичных геохимических ореолов при геологической съёмке масштаба 1:50 000. В сб. «Геохимические методы при поисках и разработке рудных месторождений», вып. 4. Изд. ИМГРЭ, 1971.

Каблуков А. Д., Вертепов Г. И. Ореолы рассеяния элементов вокруг урановых рудных тел. — Геология рудных месторождений, 1960, № 2.

Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. В сб. «Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих месторождений». Издание СибГЕОХИ. Иркутск, 1970.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОСАДОЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ КАК КРИТЕРИЙ ПОИСКОВ ОСАДОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Н. М. Страховым (1963) установлено, что между рудными накоплениями и рассеянными содержаниями элементов в осадочных отложениях существуют постепенные переходы. Эти «переходные концентрации» размещаются вокруг рудных тел в виде полос различной ширины, образуя промежуточные зоны между рудными и кларковыми концентрациями. Кроме того, часты случаи проявления самостоятельных участков с содержаниями рудных компонентов, характерными для этих промежуточных зон, являющихся своего рода «ареалами недоразвитого или вовсе эмбрионального (зачаточного) рудообразования».

Некоторые руды осадочного генезиса фациально и генетически близки друг к другу, а другие весьма существенно отличны. Это позволило Н. М. Страхову (1963) выделить естественные фациально-генетические типы гумидных и аридных рудных накоплений.

В условиях гумидного типа литогенеза выделяются четыре такие группы. Первую рудную группу образуют россыпные месторождения золота, платины, титана, алмазов, касситерита и других тяжелых металлов. Вторая группа представлена рудной триадой: «алюминий-железо-марганец». Фосфор, аутигенный кремнезем, углекислый кальций, углекислый магний составляют тетраду, тесно связанную генетически, но совершенно другим, чем у триады, механизмом концентрации в осадках. Четвертую, обособленную, фациально-генетическую группу образуют угли и горючие сланцы.

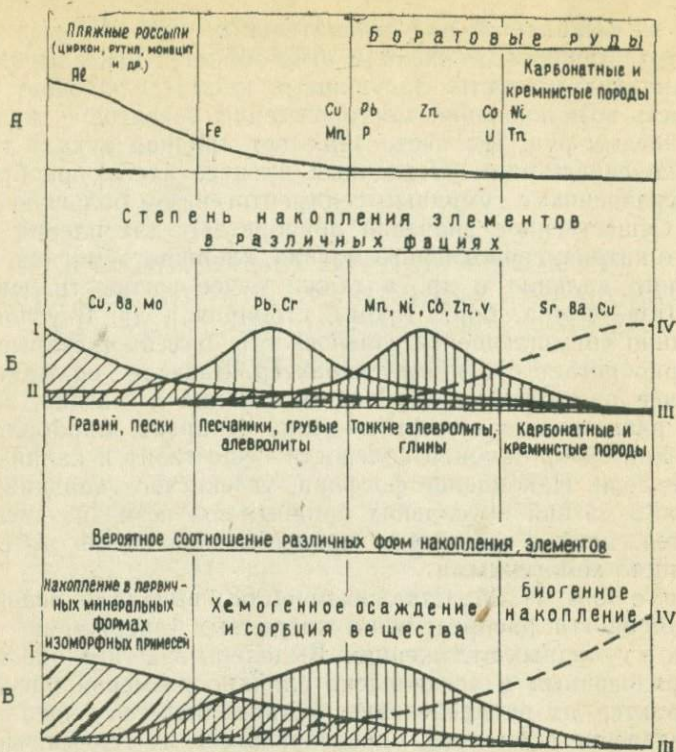
В аридных областях фациальные типы терригенных пород и самый механизм их формирования те же, что и в гумидных.

И все же выявляется ряд отличительных черт, которые придают терригенным отложениям этих областей ярко выраженную индивидуальность. Засушливый климат исключает возможность возникновения месторождений бокситов и железомарганцевых руд. Их место занимает аридная рудная триада: медь-свинец-цинк. Осадочный процесс здесь приобретает по сравнению с гумидным седиментогенезом большую полноту. Существенное значение приобретают накопления хлористого натрия, сернокислого магния, хлористого магния, сернокислого кальция и др., а также менее распространенных элементов—фтора, бора, брома, стронция и др. В условиях постоянно повышающейся солености бассейнов седиментация приобретает стадийный характер. Вначале осаждаются наименее растворимые карбонаты кальция и магния, затем более растворимые сульфаты—гипс, тенардит, мирабилит и др., а при очень высокой солености—еще галит и калий-магниевые соли. Накопление фосфора, углекислого кальция, углекислого магния в условиях аридных зон резко интенсифицируется, причем биогенные процессы накопления вытесняются чисто хемогенными.

Кроме того, Н. М. Страховым (1968) выявлены основные закономерности распределения кларковых содержаний элементов в гумидных отложениях. Выделены два типа—пестрый и упорядоченный и установлено влияние размеров бассейна на характер их распределения. Устанавливается зональное распределение элементов, определяющееся их геохимической подвижностью, причем в различных бассейнах она различна (фиг. 1).

Описываемые нами результаты геохимических исследований базируются на фактическом материале, собранном в Закавказье (Армянская ССР и Грузинская ССР), в областях развития миоплиоценовых осадочных и вулканогенно-осадочных образований (Карталинская депрессия, Гурийская впадина, Севанский, Октемберянский, Годердзский и Кисатибский участки).

Карталинская депрессия приурочена к восточной зоне погружения Грузинской глыбы (Гамкрелидзе, 1949) и охватывает в основном межгорное понижение между Главным Кавказским хребтом (его южные отроги) и Аджаро-Триалетской складчатой системой. Гурийская впадина входит в Гурийскую подзону Аджаро-Триалетской складчатой системы. Годердзский и Кисатибский участки расположены в пределах Аджаро-Триалетской складчатой системы и приурочены, соот-



Фиг. 1. Схема геохимических закономерностей, отражающих осадко-накопление и зональность месторождений осадочного генезиса в фациях открытого моря

ответственно, к Ахалцихской и Аспиндзско-Манглийской под-зонам.

Севанский участок расположен в юго-западной части котловины оз. Севан и входит в состав Ахтинской мегаантиклинальной зоны Севанского тектонического пояса. (Асланян, 1958). И, наконец, Октемберянский участок захватывает Арташат-Раячлар-Октемберянскую впадину Араратской котловины Приараксинской мегаантиклинальной зоны.

Отложения миоцена Карталинской и Гурийской впадин представлены прибрежно-морскими и континентальными фациями (Варенцов, 1950). В Карталинии развиты песчано-глинистые отложения с маломощными прослоями известняков.

Глины темно-серые, бурые. Песчаники желтовато-серые, светло-желтые, разнотекстурные. Мощность отдельных горизонтов глин и песчаников достигает порой десятков метров, и лишь в верхних частях разреза наблюдается более тонкое переслаивание маломощных прослоев бурых глин с серыми среднетекстурными песчаниками. Отложения Гурийской впадины представлены частым переслаиванием тонких прослоев бурых глин с желтовато-бурыми песчаниками.

В Октемберянском районе развиты отложения, образовавшиеся в условиях мелководного моря со сдвигом фации в сторону лагунного засоления, представленные чередованием пестроцветных туфогенных песчаников, алевролитов и глин. В толще песчано-глинистых образований отмечаются прослои известняков, гипса и каменной соли.

Отложения Абастуманского района (район Годердзского перевала) — слои Цхрута-Цахана — представлены в лагунных фациях, а именно, — разнообразными песчаниками с прослоями конгломератов и известняков, а также лигнитовой свитой, которая сложена глинами с прослоями песчаников и лигнитов.

В Севанском районе (сарыкаинская толща) и в районе Кисатибского месторождения (кисатибская свита) отмечаются типичные отложения озерного происхождения со значительным количеством туфогенного материала. В строении сарыкаинской толщи (Севанский участок) принимают участие мергели, туфобрекчии, гравелиты, песчаники, глины и пески. Кисатибская свита сложена туфобрекчиями, различными туфами, конгломератами, подчиненными прослоями глин, мергелей, лигнитов и диатомитов.

Проводимые нами работы сводились к изучению (документации и опробованию) разрезов различных отложений и прослеживанию их по простиранию. Разрезы выбирались с таким расчетом, чтобы была получена геохимическая характеристика отложений различных структурных литолого-фациальных и фациальных зон. Изучались породы, различные по химическому, петрографическому и гранулометрическому составу. Разрезы по профилю располагались через 1,0 км. На участках со сложными фациальными переходами и т. д. расстояния между разрезами сокращались, как правило, до 200 м. Документация составлялась в масштабе 1 : 500 и 1 : 50 с послонным описанием пород, слагающих разрез.

Методика отбора проб, их обработка практически не отличалась от методики, предложенной И. Н. Резниковым и Е. М. Янишевским (Резников, 1971). Приведенный фактически

кий материал по распределению бора и микроэлементов в различных осадочных отложениях базируется на данных 760 проб. Все пробы были проанализированы спектральным методом в Бронницкой лаборатории ИМГРЭ. Бор определялся спектральным количественным методом, а такие микроэлементы, как стронций, барий, литий, марганец, хром, никель, кобальт, медь, цинк, кадмий, мышьяк, бериллий, вольфрам, цирконий, свинец, — спектральным приближенно-количественным методом. На основании результатов этих анализов дана геохимическая характеристика изучавшихся отложений и оценка перспектив бороносности участков, толщ, отдельных горизонтов.

Кроме того, выполнен небольшой объем химических анализов, позволивших изучить формы нахождения бора (воднокислотноподвижный, сорбированный и изоморфный), степень карбонатности пород и состав карбонатов, солевой состав водных и кислотных вытяжек. Выполнены минералогической и гранулометрический анализ пород, что позволило установить закономерности распределения бора в различных фракциях и минералах.

В районах развития изучавшихся нами миоплиоценовых осадочных и вулканогенно-осадочных пород наряду с решением основной задачи по оценке перспектив бороносности отдельных площадей, толщ и т. д. были также выявлены региональные закономерности распределения в них микроэлементов.

Как известно, характер распределения и степень концентрации бора и микроэлементов в породах во многом определяются разнообразными факторами, такими как условия осадконакопления, тектоника, количество и состав пирокластического материала, отсортированность терригенного материала и минералого-петрографический состав.

Наши исследования показали, что бороносность изученных отложений неодородна и в первую очередь определяется их литолого-фациальным составом. Наибольшими средними содержаниями бора характеризуются лигниты (0,017%) и глины (0,013—0,015%), наименьшими — известняки (0,0009—0,0017%).

Аналогичная закономерность в распределении бора проявлена в осадочных породах из вулканогенно-осадочных толщ, причем присутствие пирокластического материала в отложениях приводит к снижению его абсолютных содержаний.

Таким образом, в общих чертах наблюдается четкая тен-

денция к возрастанию содержаний бора по мере уменьшения размера зернистости слагающего породу материала (т. е. — от гравия к алевролитам и глинам) и снижению его концентраций в карбонатных разностях пород.

Условия образования изучаемых пород (морские, озерные), как мы увидим ниже, не влияют на распределение бора в различных литологических разностях пород, а лишь обуславливают его абсолютные содержания. Так, отложения, представленные морскими фациями (районы Карталинии, Гурин и Араратской котловины), характеризуются повышенными концентрациями бора (0,006—0,03%) по сравнению с содержанием его в отложениях озерного происхождения (0,001—0,018%). Такая более низкая бороносность последних характерна для всех литологических разностей этих пород, однако для грубозернистых и особенно песчаных разностей эти различия менее ярко выражены, чем для глин и алевролитов. Это можно объяснить худшей отсортированностью материала в отложениях озерного происхождения, что приводит к повышению в песчаниках глинистых минералов, характеризующихся высокой бороносностью (Хардер, 1965).

В пределах одного законченного цикла наступления и отступления моря наблюдается некоторое повышение концентрации бора в отложениях, образовавшихся в период стабилизации бассейна, с понижением к началу и концу цикла. Отложения базального горизонта, как правило обогащены бором.

На материале песчано-глинистых отложений Карталинии были изучены водно- и кислоторастворимые соединения бора и установлена их доля в общем балансе. Присутствие бора в водных вытяжках обуславливается наличием в породе воднорастворимых соединений и, в частности, боратов легкорастворимых солей и т. д. В солянокислотную вытяжку должен переходить бор, связанный в основном с карбонатами и частично — полученный за счет разложения магнийсодержащих силикатов. Изоморфный и, по-видимому, большая часть сорбированного бора составляют его содержание в остатке.

Воднорастворимые соединения бора не играют существенной роли в общем его балансе. На их долю приходится: в глинах от 2,7 до 5,2%, в песчаниках от 6,8 до 11,2%. Доля кислотно-растворимого бора в общем его балансе значительна. В морских фациях он составляет в глинах 21—25% и в песчаниках 53—64%. В прибрежных фациях его содержание возрастает в глинах до 42% и снижается до 40% в песчаниках. В глинах и песчаниках континентальных фаций (верх-

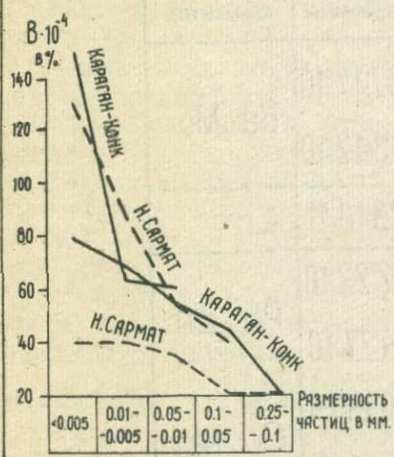
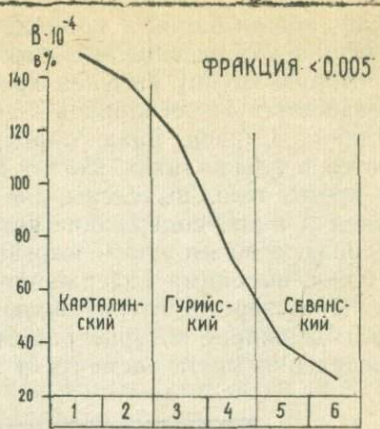
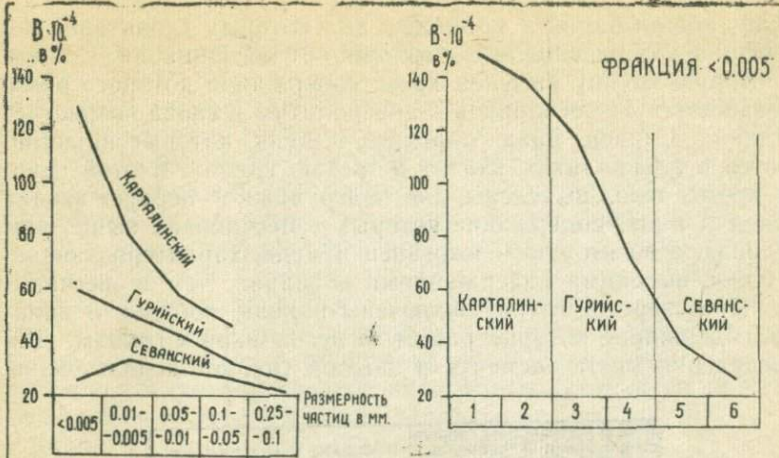
ний сармат) на его долю приходится соответственно 16 и 23%. Таким образом, количество бора, извлекаемое солянокислой вытяжкой, определяется фашиально-литологическими особенностями образования осадка. Экспериментально доказано, что когда в породе присутствуют бораты (инионт, гидроборатит, колеманит, пандермит), соотношение различных форм нахождения бора резко изменяется, даже если общие его содержания близки к установленным в отложениях Карталинии. В таких случаях доля извлекаемого в водную вытяжку бора составляет более 50% от общего его количества, что можно использовать как критерий рудоносности отложений при прогнозно-оценочных и поисковых работах.

Бор в различных гранулометрических фракциях глины распределен неравномерно. Повышенными содержаниями характеризуются более тонкие фракции ($< 0,005$ мм). По мере роста размеров частиц отмечается снижение содержания бора (фиг. 2). Аналогичная закономерность установлена для глины различных стратиграфических горизонтов.

Рассмотренные зависимости содержания бора от перечисленных выше факторов и установленные закономерности в его распределении могут быть использованы при геохимических поисках для интерпретации и разбраковки аномалий бора.

Что касается распределения изученных нами других микроэлементов на «идеальном геологическом профиле» (гравий — пески — песчаники — алевриты — глины — известняки), то оно неравномерно, но в то же время строго закономерно, несмотря на различные условия осадконакопления и неоднородность состава поступающего в бассейн терригенного материала. Одни из них, такие как барий, молибден, хром, свинец и медь, накапливаются в грубых литофациях, независимо от озерного или морского их происхождения, другие — никель, кобальт, ванадий и цинк — в тонких; максимальные концентрации стронция присущи известнякам. Такие элементы, как барий и медь, в некоторых случаях имеют два максимума содержания, что скорее всего определяется наличием различных форм их нахождения.

На примере распределения микроэлементов в морских фациях Араратской котловины рассмотрим методику выделения рядов геохимической подвижности микроэлементов (фиг. 3). Прежде всего, нами выделены четыре группы микроэлементов. В каждую группу объединялись элементы, характеризующиеся единой схемой распределения. Так, в первую

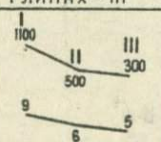
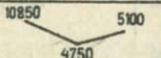
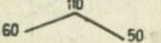
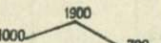

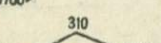
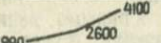
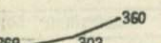



1. Лепидокрокит, кальцит. 2. Кальцит, тюрингит. 3. Монтмориллонит, кальцит.
 4. Каолинит, гидрослюда. 5. Гидрослюда, кальцит. 6. Опал, кварц. 7. Кальцит, тюрингит.
 8. Монтмориллонит, кальцит. 9. Кальцит, лепидокрокит.
 10. Каолинит, гидрослюда. 11. Гидрослюда, кальцит. 12. Опал, гидрослюда, кварц.

Соотношение мощностей слоев глин и песчаников в разрезе	Содержание бора в %	
	в глинах	в песчаниках
$M_{\text{глин}} > M_{\text{песчаников}}$ (более чем в 10 раз)	0.01	0.006
$M_{\text{глин}} < M_{\text{песчаников}}$ (более чем в 5 раз)	0.0056	0.0049

Фиг. 2. Распределение средних содержаний бора в различных гранулометрических фракциях

группу вошли барий и молибден, для которых характерно постепенное уменьшение их содержаний от песчаников к глинам. Во вторую группу выделен хром, содержание которого резко уменьшается от песчаников к алевролитам и снова возрастает в глинах. Свинец, цинк, марганец и медь, которые накапливаются в алевролитах, входят в третью группу. В этой группе, кроме того, выделены две подгруппы: в первую входят свинец и цинк, содержание которых в песчаниках выше, чем в глинах, а во вторую — марганец и медь, характеризующиеся более высокими содержаниями в глинах, чем в песчаниках. В четвертую группу включены никель, кобальт и ванадий, содержание которых растет от песчаников к глинам. Для определения места элемента в каждой группе использованы

Номер группы ассоциируемых элементов	Распределение содержания (в 10^{-4}) элементов: в песчаниках — I алевролитах — II глинах — III	Отношение содержаний	Положение элементов
I [Ba] [Mo]		3.7:1.7:1.0 1.8:1.2:1.0	Ba, Mo
		2.3:1.0:1.1	Cr
III [Pb] [Zn] [Mn] [Cu]		1.2:2.2:1.0	Pb, Zn
		1.4:2.7:1.0	
		1.0:1.4:1.4	Cu, Mn
		1.0:1.1:1.0	
IV [Ni] [Co] [V]		1.0:1.3:2.1	Co, V, Ni
		1.0:1.1:1.3	
		1.0:1.3:1.8	

Фиг. 3. Распределение микроэлементов в морских фациях Араратской котловины.

отношения его содержаний в различных литологических разностях пород. Таким образом, для миоплиоценовых отложений Араратской котловины получен следующий ряд зонального распределения микроэлементов (см. фиг. 3):

[Ba, Mo] [Cr] [(Pb, Zn) (Cu, Mn)] [Co, V, Ni].

Для отложений Карталинской депрессии при построении ряда зональности использован другой методический прием.

Все элементы располагались в ряду по степени возрастания коэффициента накопления (K_n — отношение среднего содержания элемента в одной из литологических разностей пород морского генезиса к среднему содержанию той же разности пород озерного происхождения). На основе такого коэффициента представляется возможным установить ряд подвижности элементов для каждой разности пород: песчаники [Cu, Ba, Pb] [Co, Zn, Sc, Ni] [Mn, Cr]; алевролиты [Mo, Ba, Cu] [Pb] [Zn, V, Sc, Co, Ni] [Mn, Cr]; глины [Ba, Zn, Cu] [Sc, Pb, Co, Ni] [Mn, Cr, V].

Несмотря на некоторое перемещение отдельных элементов внутри ряда, все элементы располагаются в закономерной вышеприведенной последовательности. Крайнее правое положение в ряду марганца и хрома объясняется характерным для пород района Карталинии значительно повышенным их содержанием по сравнению с кларковым.

Подобные и близкие к ним ряды установлены для различных стратиграфических горизонтов отложений миоплиоцена, представленных в озерных и морских фациях, развитых в других районах. Для морских и озерных фаций эти ряды выражаются в следующем виде:

морские фации [Ba, Be, Sr][Cr] [(Mo, Pb) (Cu, Mn)]

[Zn, Co, V, Ni][Sr, Ba(?), Mn, Cu, Mo(?), Pb(?)];

озерные фации [Mo, Ba, Sr(?)] [Cu, Mn, Cr, Pb, Co][V][Ni, Zn, Sc, Ba].

Как следует из приведенного выше материала, все элементы по степени накопления и характеру распределения в различных литофациях «идеального» геологического профиля могут быть объединены в несколько групп.

Элементы первой группы характеризуются постепенным снижением их концентраций в породах в направлении от грубых к более тонким разностям. Это — молибден, барий и медь. В тех случаях, когда в разрезе отсутствуют гравийно-галечниковые отложения, максимум концентрации меди отмечается в глинистых разностях пород.

Во вторую группу объединяются элементы, максимальные концентрации которых отмечаются в песчаных и частично грубых алевритовых разностях пород и снижаются в глинистых и гравийных отложениях. Типичными представителями этой группы являются свинец и хром.

Никель, кобальт, ванадий и цинк, максимальное содержание которых характерно для глинистых разностей пород, составляют третью группу, в которую иногда включаются также медь и марганец.

В четвертую группу объединены микроэлементы, которые накапливаются в карбонатных породах в большем количестве по сравнению с породами других литологических разностей. В первую очередь сюда следует отнести стронций. Такие элементы, как барий и молибден, не всегда проявляют тенденцию концентрации их в карбонатных разностях пород (табл. 1).

Микроэлементы, объединенные в группы, как правило, занимают строго определенное место в ряду и лишь иногда происходит некоторая перестановка их внутри группы. Крайне редки случаи перемещения отдельных элементов из одной группы в другую. Так, никель, кобальт никогда не занимают место в ряду перед хромом, свинцом и, тем более, барием, молибденом. Такое зональное расположение элементов в «идеальном геологическом профиле» установлено для различных фаций (морских и озерных), различных регионов и стратиграфических горизонтов.

По мнению авторов, элементы, занимающие в ряду крайне левое положение, накапливаются главным образом в минеральной форме или изоморфно входят в решетку различных минералов, слагающих терригенный материал. Накопление элементов, занимающих в ряду крайне правое положение, по мере удаления по «идеальному» профилю от береговой линии происходит в основном хемогенным и биогенным путем. На примере бора установлено образование высоких концентраций его за счет сорбции глинистыми частицами. Весьма вероятно, что высокие концентрации стронция в известняках обусловлены биогенным накоплением.

Из всего вышесказанного можно заключить, что концентрации и характер распределения химических элементов в осадочных образованиях определяются главным образом их геохимической подвижностью, а состав терригенного материала, привносимого с суши, условия его накопления в бассейне играют в этом процессе второстепенную роль. Влияние по-

Ряды геохимической подвижности

11-708

Фации, возраст		Ряд подвижности
		[Mo—Ba—Cu] → [Pb—Cr] → [Mn—Cu—Zn] (Co—V—Ni) → [Sr—Ba ₂ —Mo ₂]
Морские		[Ba—Be—Sr] → [Cr] → [(Mo—Pb) (Cu—Mn)] [Zn—Co—V—Ni] → → [Sr—Ba(?)—Mn—Cu—Mo(?)—Pb(?)]
Озерные		[Mo—Ba—Sr] → [Cu—Mn—Cr—Pb—Co] → [V] → [Ni—Zn—Sc—Ba]
Морские Аралат- ской кот- ловины	Отложения Чокрака, Караган-Конка, ниж- него и среднего сар- мата	[Ba—Mo] → [Cr] → [(Pb—Zn) (Cu—Mn)] → [Co—V—Ni]
	Отложения нижнего сармата	[Mo] [Cr] → [(Ba—Pb—Cu), (Zn—Mn)] → [V—Co—Ni]
	Отложения среднего сармата	[Ba—Mn—Cr—Pb] → [(Cu—Zn) (Mn)] → [Co—V—Ni]
Озерные Сараканской толщи (ЮЗ побережье оз. Севан)		[Mo—Ba—Cu] → [Pb] → [Cr—Cu] (Co—V) → [Zn—Ni]

следних двух факторов скорее всего должно найти отражение в изменении абсолютных концентраций элементов в определенных литофациях, однако это ни в коей мере не нарушает их зонального распределения.

На основе этих закономерностей, объединив микроэлементы, характерные для грубых литологических разностей пород, образующихся в относительно прибрежной зоне, в условную группу «А» и определив их суммарные или мультипликативные значения средних содержаний, можно получить показатель, характеризующий положение той или иной разности пород относительно береговой линии. Значение этого коэффициента снижается от грубых к более тонким разностям пород, т. е. от песчаников к глинам (табл. 2). В связи с тем, что каждая литологическая разность образуется на определенном интервале водного бассейна, длина которого может варьировать в широких пределах, предлагаемый коэффициент «А» указывает на передовую границу (близлежащую к берегу) образования изучаемой разности пород.

Отмеченная для этой группы закономерность нарушена в нескольких случаях. Так, в общей выборке отложений миоплиоцена, пробы, объединенные в ней независимо от условий их образования — морские, озерные, имеют различную представительность. В связи с этим значение коэффициента «А» в алевролитах неоправданно выше, чем в песчаниках, а в гравии ниже. Эти отклонения от правила могут быть объяснены тем, что гравийный материал изучался только в разрезах озерных фаций, а как видно из таблицы, они существенно обеднены всеми микроэлементами по сравнению с морскими фациями. Повышение же этого показателя для алевролитов объясняется тем, что большая часть проб, включенных в выборку, отобрана из алевролитов морского происхождения. Следовательно, отмеченные отклонения для этой общей выборки объясняются различным представительством проб, отобранных из отложений морского и озерного происхождения. Если же рассмотреть этот показатель отдельно по морским и озерным фациям, то описываемая закономерность проявляется нормально.

Чем выше различия в суммах содержаний этих элементов в песчаниках и глинах одного профиля, тем больше эти разности пород были разобщены в пространстве в процессе осадконакопления.

Подтверждение этому находим в табл. 2 при сравнении в отдельности морских и озерных фаций по коэффициенту «А».

Значение аддитивных показателей
для различных литологических разностей пород
морского и озерного происхождения

Фациальный состав, район, возраст	Порода	$\Sigma\text{Ba}+\text{Pb}+$ $+\text{Cr}+\text{Mo}$ (А) в $\% 10^{-5}$	$\Sigma\text{Zn}+\text{Mn}+\text{Sc}+$ $+\text{Ni}+\text{Co}+\text{V}_1+\text{Cu}$ (Б) в $\% 10^{-5}$
Морские	Песчаник	6455	16996
	Алевролит	5116	20730
	Глина	3393	24000
Озерные	Гравий	3139	4498
	Песчаник	2550	4648
	Алевролит	925	2940
	Глина	2350	5738
Морские (Октемберян)	Песчаник	12019	12249
	Алевролит	5366	17003
	Глина	5165	19130
Озерные (Севан)	Гравий	4090	1833
	Песчаник	3220	1910
	Алевролит	1450	1550
	Глина	2250	3770
Морские (верхний сармат)	Песчаник	16478	17230
	Алевролит	7345	18585
	Глина	5596	21407
Морские (нижний сармат)	Песчаник	12057	4230
	Алевролит	3145	10932
	Глина	4253	11685

Для морских фаций различия значительны, в то время как для озерных они намного меньше (например, для глин морского и озерного происхождения значения коэффициента «А» соответственно равны 3393 и 2350, а для песчаников—6455 и 2550). Это вполне закономерно и определяется различием фаций. Естественно, что как глины, так и песчаники озерного происхождения хуже отсортированы по сравнению с морскими отложениями. Еще более контрастны эти различия при

сравнении данных по каждому району или горизонту в отдельности.

Объединив в самостоятельную группу микроэлементы (группа «Б»), характеризующаяся более высокой геохимической подвижностью (цинк, медь, марганец, никель, кобальт, ванадий, скандий), просуммировав величины содержаний этих элементов в породах, можно получить показатель, фиксирующий условную границу завершения стадии накопления той или иной разности пород. Следовательно, чем лучше отсортирован материал и чем дальше он накапливался от береговой линии, тем выше значение этого коэффициента. Таким образом, при изучении условий накопления той или иной разности пород по значению коэффициентов «А» и «Б» можно определить условно интервал образования осадка. Так, чем выше значение этих коэффициентов, тем шире по «профилю» интервал, на котором накапливался осадок.

Полный анализ материалов по различным стратиграфическим горизонтам позволяет установить относительные различия в характере рельефа дна исследуемых бассейнов осадконакопления. Как уже отмечалось, увеличение значений коэффициентов «А» и «Б» указывает на увеличение интервала осадконакопления, а следовательно, на лучшую сортировку герригенного материала, характерную для бассейнов с пологим дном. Для бассейнов с крутым склоном дна значение этих коэффициентов будет снижаться.

Использование коэффициентов «А» и «Б» позволяет охарактеризовать каждую разность пород, определить местоположение изучаемого разреза относительно береговой линии и установить параметры различных литолого-фациальных зон в пределах одного бассейна осадконакопления.

Кроме того, сравнивая в одном разрезе различные стратиграфические горизонты или литологические разности пород, можно сделать выводы о стадийности (цикличности) или ритмах осадкообразования и определить трансгрессивный характер осадконакопления.

Выявленные закономерности можно использовать при прогнозировании и поисках месторождений осадочного генезиса. Так, определив основные параметры (значения вышеуказанных коэффициентов для потенциально рудоносных пород), можно фиксировать литолого-фациальные зоны, к которым приурочено то или иное месторождение осадочного генезиса. Внутри зоны, более детально изучая соотношение микроэлементов-индикаторов, характеризующих рудные и безрудные

концентрации, можно определить направление поисковых работ для выявления промышленных скоплений руд.

На Егорьевском месторождении фосфоритов, расположенном в Московской области, проведен небольшой объем геохимических исследований с целью изучения возможностей использования геохимических методов при поисках месторождений осадочного генезиса и, в частности, накоплений фосфоритов.

В тектоническом отношении район месторождения приурочен к Тумско-Шатурскому выступу Волго-Уральской антеклизы, ограниченному с севера Павло-Посадской впадиной Московского прогиба, а с юга—Пачелмским авлакогеном. В строении Егорьевского месторождения принимают участие породы, образовавшиеся в платформенных условиях, тогда как в Закавказье мы имели дело с геосинклинальными образованиями. Как и все платформенные месторождения фосфоритов, Егорьевское месторождение представляет собой скопление желваковых фосфоритов, которыми обогащены глинисто-песчаные породы.

Среди вскрытых на месторождении наиболее древними являются каменноугольные, пермские и триасовые отложения. На сильно эродированную поверхность палеозоя трансгрессивно налегают песчано-глинистые отложения батского яруса средней юры, которые перекрываются мергелисто-глинистыми, с мелкими прослоями фосфоритов, породами келловей-кемериджского яруса верхней юры. Выше этих отложений залегает фосфатная серия, среди которой выделяют три фосфоритных горизонта.

1. Нижний фосфоритный горизонт относится к средневожскому подъярису верхней юры, отложения которой трансгрессивно залегают на более древних образованиях. Горизонту характерно наличие желваков фосфоритов, которые сцементированы фосфорито-кальцитовым цементом и образуют своеобразную плиту. Мощность горизонта 0,5 м.

2. Второй фосфоритный горизонт сложен отложениями верхне-вожского подъяруса и состоит из глауконитовых песков с большим количеством желваков фосфоритов, также образующих фосфоритную плиту, которая в краевых зонах цементирована. Мощность этих образований около 0,7 м. Горизонт этот отделен от средневожского прослоем глинистых глауконитовых песков с редкими желваками фосфоритов, относящихся к верхне-средневожскому времени. Мощность его—5—8 м.

3. Самым верхним является рязанский фосфоритовый горизонт нижнего мела, который сложен песчанистой соолитовой глиной, содержащей мелкие желваки фосфорита. Мощность этого горизонта около 0,4 м.

Фосфоритоносные отложения перекрыты белыми кварцевыми песчаниками валанжинского яруса верхнего мела и песчано-глинистыми четвертичными отложениями. Общая мощность перекрывающих пород колеблется от 2—3 до 27 м. Все фосфоритовые горизонты залегают горизонтально и относятся к образованиям прибрежной морской зоны.

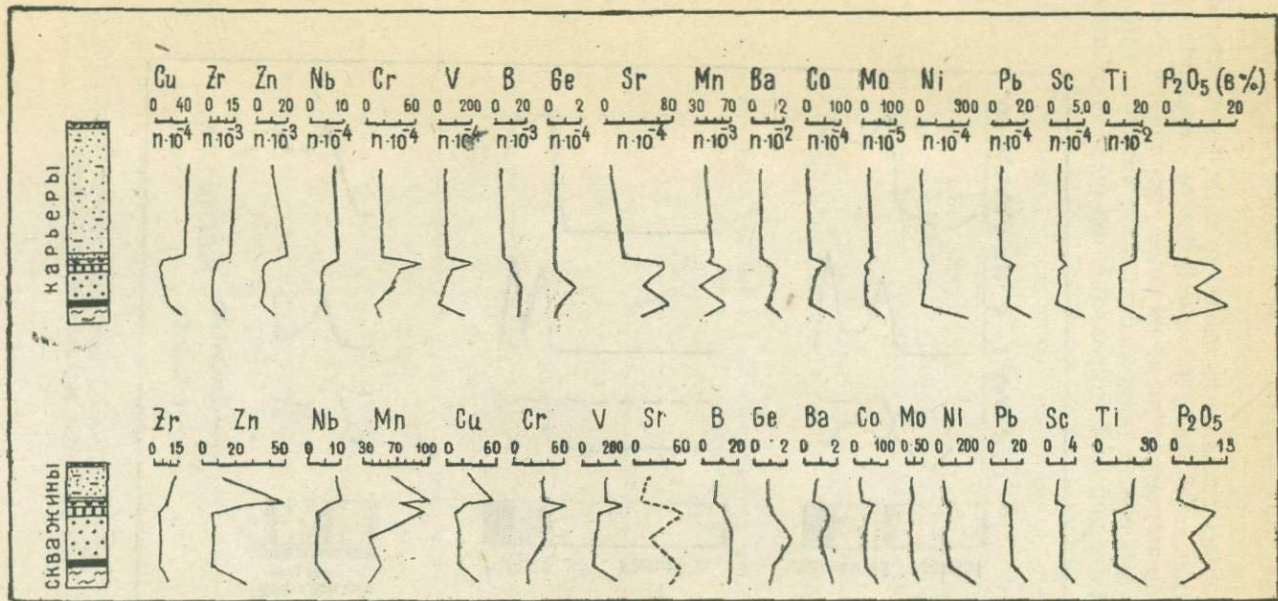
В пределах месторождения работы проводились в центральной его части (карьеры 5 и 9) и на северо-западной окраине (Новоселовский разведочный участок). На каждом участке породы изучены по двум взаимопересекающимся профилям. Один профиль расположен в субмеридиональном, а другой — в субширотном направлении. В процессе работ были опробованы керн скважин и стенки карьеров после предварительной их зачистки.

В распределении фосфора и микроэлементов в породах Егорьевского месторождения установлены строгие и четкие закономерности.

Концентрация микроэлементов неоднородна по стратиграфическим горизонтам и изменяется в широких пределах. Для каждого стратиграфического горизонта можно выделить круг элементов, которым он резко отличается от других (фиг. 4). Так, четвертичные отложения характеризуются повышенными содержаниями циркония, валанжинские — цинка и ниобия, породы рязанского горизонта — ванадия и хрома, отложения волжского горизонта — стронция, бора, германия и, наконец, оксфордские глины обогащены бериллием, барием, кобальтом, молибденом, никелем, свинцом, скандием, титаном.

Характер изменения средних содержаний микроэлементов по стратиграфическому разрезу весьма постоянен и одинаков для отложений обоих участков.

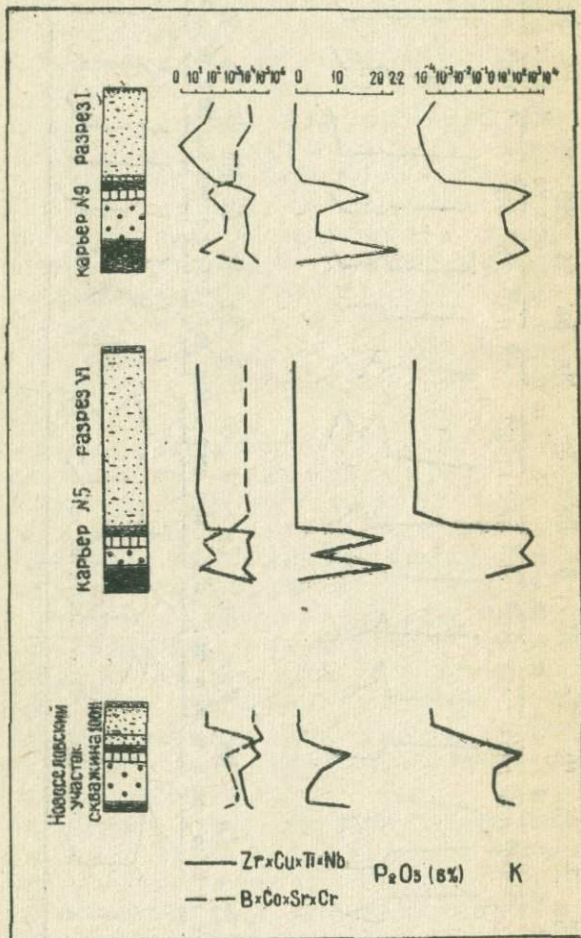
Несмотря на большую отдаленность участков друг от друга (в пределах 30 км), наблюдается одинаковое закономерное распределение элементов по каждому стратиграфическому горизонту. Исключение составляет поведение меди и марганца. Так, на Центральном участке медь характерна для четвертичных образований, а марганец — для пород волжского горизонта, тогда как на Новоселовском оба элемента характерны для пород валанжина. Это, очевидно, объясняется раз-



Фиг. 4. Распределение микроэлементов в породах Егорьевского месторождения фосфоритов

личным характером поведения этих элементов в зоне гипергенеза.

Как видно из сказанного выше, рудные горизонты обогащены ванадием, хромом, стронцием, бором, германием, а нерудные — цирконием, цинком, ниобием, бериллием, барием, молибденом, никелем, свинцом, скандием, титаном, кобальтом (табл. 3). Из группы этих микроэлементов были выделены наи-



Фиг. 5. Геохимические критерии рудных горизонтов Егорьевского месторождения фосфоритов

более контрастные для каждого стратиграфического горизонта элементы. Для этого по каждому горизонту построены ряды накопления, где положение каждого химического элемента обусловлено отношением абсолютного его содержания к минеральному содержанию. В этих рядах по контрастности различий содержаний были выделены четыре группы элементов с отношениями: от 1,0 до 1,5; 1,5—2,0; 2—4; более 4.

Объединяя в зависимости от контрастности группы элементов для рудных и нерудных горизонтов, получаем, что наибольшей встречаемостью для самых контрастных групп (2—4, более 4) для рудных горизонтов обладают кобальт, бор, хром, стронций, а для нерудных — титан, ниобий, медь, цирконий. Это подтверждается и графиками распределения мультипликативных величин содержаний микроэлементов этих групп (фиг. 5).

Отношение мультипликативных величин содержаний группы элементов, характерных для рудных горизонтов, к произ-

Таблица 3

Значение К для различных стратиграфических горизонтов
Егорьевского месторождения

Горизонты	$K = \frac{Co \times B \times Sr \times Cr}{Zr \times Ti \times Nb \times Cu}$		P ₂ O ₅	
	min	max	min	max
Q	0,00007	0,5	0,02	5,83
K _{IV}	0,008	0,4	0,06	2,00
K _{1r}	1,0	3500	3,55	22,53
J _{3V3}	48	7000	1,00	23,20
J _{3V2-3}	10	3200	0,32	18,80
J _{3V2}	7	2600	4,23	23,70
J _{3ox}	0,1	13,0	0,36	2,82

ведениям содержаний элементов нерудной группы обозначено коэффициентом K и равно

$$K = \frac{B \times Sr \times Co \times Cr}{Ti \times Nb \times Cu \times Zr}$$

Этот коэффициент позволяет четко отличить рудные и нерудные горизонты. Так, например, пределы колебаний для рудных горизонтов составляют $\min 1$ — $\max 830$ (табл. 4), а для

Таблица 4

Закономерности накопления химических элементов
в различных стратиграфических горизонтах

Горизонты	Скважины	Карьеры	
Q	Zr	Cu, Zr	Zr
K, v	Zn, Nb, Mn, Cu	Zn, Nb	Zn, Nb
K, r	Cr, V	Cr, V	Cr, V
J ₃ V ₃	Sr	Sr, Mn	Sr
J ₃ V ₂₋₃	B, Ge	B, Ge	B, Ge
J ₃ V	Sr	Sr, Mn	Sr
J ₃ Ox	Ba, Co, Mo, Ni, Pb, Sc, Ti	Ba, Co, Mo, Ni, Pb, Sc, Ti	Ba, Co, Mo, Ni, Pb, Sc, Ti

нерудных соответственно—0,00007—13, что фиксирует превышение первых над вторыми в 1000—10000 раз. Это резкое отличие проявляется как по всему месторождению, так и по отдельно взятым разрезам или скважинам. Как видно из фиг. 5, между распределением окиси фосфора и мультипликативным отношением наблюдается четкая коррелятивная связь, которая проявляется почти повсеместно. Это позволяет говорить о возможности применения коэффициента K для выде-

ления в разрезе перспективных на фосфор горизонтов, а также разделения фосфоритных руд на различные типы.

Рассматривая распределение коэффициента K по простиранию того или иного рудного горизонта, можно выделять внутри последнего наиболее перспективные участки и устанавливать направления их выклинивания или увеличения мощности.

Все вышесказанное позволяет говорить о возможности применения геохимических методов при поисках месторождений фосфора и выделении в их пределах наиболее перспективных площадей, расчленении их по горизонтам различного возраста, а также прогнозировании распространения их по простиранию.

На основании изложенного выше фактического материала можно сделать следующие выводы.

1. Величина концентрации и характер распределения микроэлементов в осадочных образованиях определяются главным образом их геохимической подвижностью и формами накопления. Состав же терригенного материала, условия его транспортировки и литолого-фациальные условия осадкообразования в распределении микроэлементов играют второстепенную роль и определяют в основном изменение лишь абсолютных значений их содержаний.

2. Все изученные микроэлементы в породах на «идеальном» геологическом профиле характеризуются зональным расположением (по распределению максимумов концентраций в пределах бассейна осадконакопления) относительно друг друга и образуют ряд геохимической подвижности, в котором каждый элемент, за небольшим исключением, занимает строго определенное место.

3. Полученные закономерности могут быть использованы при прогнозных и поисковых работах на месторождениях осадочного генезиса различных металлов. С одной стороны, представляется возможным выделить определенные литолого-фациальные зоны, с которыми генетически связаны определенные типы осадочных месторождений, а с другой — в пределах этих зон выявлять место, положение и отдельные области (участки) развития повышенных или даже промышленных концентраций того или иного полезного ископаемого.

4. Используя полученные закономерности в распределении микроэлементов, можно решать некоторые чисто геологические вопросы. Такими вопросами могут быть, например: расчленение и корреляция отдельных стратиграфических гори-

зонтов и толщ, положение разрезов относительно береговой линии, выяснение некоторых палеофациальных и палеогеографических условий осадконакопления и некоторые другие.

ЛИТЕРАТУРА

- Асланян А. Г.* Региональная геология Армении. Ереван, 1958.
- Варенцов М. И.* Геологическое строение западной части Куринской депрессии. Изд-во АН СССР, 1950.
- Гамкрелидзе П. Д.* Геологическое строение Аджаро-Триалетской складчатой системы. Изд-во АН Груз. ССР, 1949.
- Резников И. Н.* Об использовании геохимических методов при геолого-съёмочных работах». Научные собрания ИМГРЭ», вып. 9. Изд. ИМГРЭ, 1971.
- Страхов Н. М.* Типы литогенеза и их эволюция в истории земли. Госгеолтехиздат, 1963.
- Страхов Н. М.* К теории геохимического процесса в гумидных зонах. Материалы VII Всесоюзной литологической конференции 1965 г. Изд-во «Наука», 1968.
- Хардер Г.* Геохимия бора. Изд-во «Недра», 1965.
-

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Е. М. Янишевский. О месте и роли геохимических методов на отдельных этапах и стадиях геологоразведочных работ	7
О. С. Ключев. Первичные (эндогенные) геохимические ореолы месторождений бериллия и их значение при поисках скрытого бериллиевого оруденения	21
Э. Н. Баранов, А. А. Головин, В. Н. Лазарев, В. В. Поливанов, В. М. Рыфтин. Геохимические критерии поисков скрытых колчеданных месторождений	45
Э. С. Кравченко. Геохимические критерии, используемые при поисках скрытого и перекрытого оловянного оруденения в условиях Приморья	89
В. Г. Ростов, В. А. Каменщиков, Г. С. Симкин, И. А. Августинчик, Н. П. Варгунина, Г. Г. Гулиев. Геохимические критерии для поисков скрытых ртутных месторождений	102
С. В. Григорян, Р. Г. Оганесян, Н. В. Ликарчук. О геохимических критериях разбраковки зон рассеянной рудной минерализации	122
Э. К. Буренков, И. С. Шейнин, А. М. Зорин, Л. А. Лебедева, Л. М. Шубникова. Закономерности распределения микроэлементов в осадочных образованиях как критерий поисков осадочных месторождений	142

**ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Утверждено к печати Институтом минералогии, геохимии и
кристаллохимии редких элементов*

*Редакторы: Т. И. НЕФЕЛОВА, О. А. НОВИКОВ
Технический редактор Е. А. ХАЗАНОВА*

Т-04819 Подписано в печать 25/II 1974 г. Формат бумаги 60×90^{1/16}
Объем 10^{1/2} печ. л. Тираж 500 Заказ № 708
Цена в обложке 74 коп., в переплете 84 коп.

Типография Миннефтепрома

Цена 84 коп.

1019