

2

МЕТОДИЧЕСКОЕ
РУКОВОДСТВО
ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ
СЪЕМКЕ
масштаба
1:50 000

НЕДРА

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

2

МЕТОДИЧЕСКОЕ
РУКОВОДСТВО
ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ
СЪЕМКЕ

масштаба
1 : 50 000

Издание второе,
переработанное и дополненное

Под редакцией А. С. КУМПАНА



ЛЕНИНГРАД «НЕДРА» ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ 1978



2555

Методическое руководство по геологической съемке масштаба 1 : 50 000. Изд. 2-е. Т. 2. Под ред. А. С. Кумпана. Л., «Недра», 1978. 287 с. (М-во геологии СССР. Всесоюз. науч.-исслед. геол. цн-т). Авт.: И. И. Абрамович, Е. Е. Белякова, А. И. Бурдэ, Н. Н. Васильева и др.

В «Методическом руководстве» освещены методы геологической съемки и сопровождающих ее поисковых работ. Эти методы на практике могут использоваться при съемках любого масштаба, однако в книге отражены особенности их применения при крупномасштабной (1 : 50 000—1 : 25 000) геологической съемке, которая приобрела в настоящее время наибольшее значение в горнорудных районах СССР. «Методическое руководство» состоит из двух томов. Второй том посвящен специальным исследованиям, проводимым при геологической съемке (геоморфологическим, гидрогеологическим, инженерно-геологическим, геофизическим, гидрохимическим, геоботаническим и биогеохимическим), и особенностям геологической съемки дна акваторий. Заключительные главы «Руководства» посвящены методам поисков полезных ископаемых в процессе геологической съемки, использованию математических методов, глубинному и объемному геологическому картированию.

Книга рассчитана на широкий круг геологов, как занятых в области геологической съемки, так и специально изучающих осадочные, магматические и метаморфические образования и ведущих поиски полезных ископаемых.

Табл. 17, ил. 93, приложение 1, список лит. 559 назв. (см. т. 1).

Авторы: И. И. Абрамович, Е. Е. Белякова, А. И. Бурдэ, Н. Н. Васильева, А. И. Виноградова, Г. В. Высоцкая, Г. В. Гальперов, З. И. Гурьева, Ф. Л. Думлер, А. А. Духовский, С. В. Егоров, В. А. Желамков, М. Г. Илаев, Л. Х. Қазимирова, Н. В. Кобец, И. И. Кронидов, И. М. Кузьмина, А. С. Кумпан (ответственный исполнитель), Е. С. Кутейников, Н. С. Кутейникова, В. В. Лавров, З. И. Латикайнен, П. Ф. Ли, П. А. Литвин, Ю. М. Миханков, К. Е. Нефедов, И. А. Ногнинова, М. И. Плотникова, М. Б. Рыбаков, Н. Н. Сарсадских, М. Л. Сахновский, В. М. Тарасов, Н. К. Ульянов, В. В. Шарков, Л. Е. Шолпо.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Задачей геоморфологических наблюдений при геологической съемке является изучение истории развития рельефа с целью дополнения и расширения информации о геологическом строении и полезных ископаемых территории. Геоморфологические наблюдения над конкретными объектами помогают распознаванию различных пород и структурных элементов по их отражению в рельефе, определению возраста рыхлых образований, направления поисков некоторых полезных ископаемых.

Изучение наблюдаемых форм рельефа заключается в описании их внешнего облика (морфологии), установлении их размеров и положения в пространстве (морфометрии), определении их происхождения (генезиса) и выявлении стадии развития, последовательности и времени их образования (возраста).

«Основными положениями организации и производства геологосъемочных работ масштаба 1:50 000—1:25 000» (п. 92) предусмотрены следующие требования к объему геоморфологических сведений, характеризующих основные элементы рельефа и рельефообразующие процессы.

1. Процессы выветривания и денудации — тип выветривания, распределение и мощность элювиальных и делювиальных образований, признаки смещения делювия в зависимости от его состава, крутизна склона, особенностей растительности и уровня грунтовых вод, способы денудации (гравитационное смещение, смывание, оплывание, осыпи, обвалы и пр.), пространственные границы проявления различных денудационных процессов, местные базисы денудации.

2. Древние поверхности выравнивания — абсолютная высота, превышения над днищами долин и относительно друг друга, угол и направление уклона, состав рыхлых образований, в том числе кор выветривания и древних аллювиальных отложений.

3. Водораздельные гребни и вершины — направление, форма и степень обнаженности вершин и водоразделов, распределение скальных выходов, распределение и относительная высота вершин над поверхностями водоразделов.

4. Склоны — крутизна (угол) в различных частях, профиль склонов и связь его с составом и условиями залегания коренных пород, характером и мощностью рыхлых отложений, положением местных базисов эрозии, переломы в профиле, ступени, террасовидные площадки, их распределение по склону и зависимость от состава и условий залегания коренных пород, форма скальных выходов. Подножия склонов — форма перехода склона в подножие (входящий угол, плавная кривая и др.), делювиальные шлейфы и их размеры.

5. Долины — общая конфигурация, характер соединения главных долин с боковыми, форма и глубина вреза, ширина, характеристика продольного и поперечного профилей на различных участках, антецедентные участки; террасы — количество, форма, относительные превышения, характер террас (аккумулятивная, смешанная, скульптурная и т. д.), состав рыхлых отложений, морфология уступов, характер сочленения уступов с днищами долин.

Методика полевых геоморфологических наблюдений характеризуется следующими основными особенностями. Точки наблюдений, закрепленные на карте и аэрофотоснимке, привязываются к местам изменений в характере рельефа — перегибам, бровкам, уступам, подножиям

склонов, вершинам и т. д. Следовательно, расстояния между точками зависят не столько от масштаба работ, сколько от сложности рельефа; описание в точке привязки должно характеризовать рельеф не только в данной точке, но и на всем отрезке маршрута; в горно-таежных районах, при ограниченном обзоре, следует подниматься на возвышенности, более или менее удаленные от линии маршрута; ключевыми участками, наиболее отчетливо выражающими основные этапы формирования рельефа, являются, как правило, речные долины с террасами и разновысотные остатки древних денудационных поверхностей, с изучения которых и надо начинать геоморфологические работы (маршруты вдоль долин, профилирование склонов и т. д.); детальное геоморфологическое профилирование склонов долин и прилегающих частей междуречий играет роль опорного стратиграфического разреза при геологической съемке.

Основными объектами геоморфологического исследования при крупномасштабной геологической съемке являются формы, части форм и микроформы рельефа. С. В. Эпштейн (1967 г.) указывает, что формы рельефа определяются ведущими экзо- или эндогенными процессами и представляют собой изолированные неровности земной поверхности, обладающие четкими границами (дюна, оз, тектонический уступ и т. д.); части форм рельефа — поверхности ограничения («границы») — определяются по ведущему процессу и положению в пространстве (поверхность террасы, отдельный уступ, столовая поверхность останца и т. п.); микроформы рельефа определяются преимущественно по характеру экзогенного процесса, обусловленного специфическими особенностями физико-географической обстановки.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Изучение тектонических форм. Тектонические формы, образованные в результате новейших складчатых движений, представляют собой не частое явление. Геоморфологическими признаками для их распознавания служат прямая выраженность складок, характер взаимоотношений складчатых форм с другими элементами рельефа, дислокации самих поверхностей. Выявлению характера деформаций хорошо способствуют составление совмещенных профилей, которые строят вкрест простирания структурных элементов, а также различные морфометрические исследования, позволяющие обнаружить структурные особенности территории, исключив многие детали, созданные наложенными явлениями (см. ниже).

Формы рельефа, связанные с новейшими дизъюнктивными деформациями, встречаются чаще. Наиболее распространены тектонические уступы, образованные разрывными нарушениями и имеющие самые различные размеры. Их отличительными признаками являются прямолинейность в плане и очень крутые углы наклонов. Вспомогательными признаками могут служить глубокий эрозионный врез долин, развитие конусов выноса и оползней у подножия, водопады, подпруживание рек и образование озер на стыках с приподнятым блоком, коленчатые изгибы речных долин в плане.

Существуют некоторые общие геоморфологические признаки, позволяющие судить о проявлении и знаке новейших тектонических движений. Так, области поднятий характеризуются террасированными морскими побережьями и речными долинами, цокольными террасами, появлением дополнительных террас, врезанными меандрами, радиальным

строением эрозионных форм в плане, миграцией континентальных дельт и конусов выноса, деформированными поверхностями выравнивания. Для областей опущенный характерны преимущественно аккумулятивный рельеф, опущенные древние береговые уровни, погребенные террасы, переуглубленные долины, аккумулятивные террасы с мощным аллювием, расширение долин и т. д.

В основе геоморфологических методов изучения тектонических движений лежит сравнение разновозрастных элементов рельефа и установление изменений, происшедших за данный интервал времени и связанных с проявлениями новейшей тектоники. При этом используются не только указанные выше главные признаки, но и множество частных показателей. Морфологический метод используется главным образом в тех довольно редких случаях, когда тектонические движения находят свое прямое выражение в виде форм рельефа. Однако даже там, где тектонические формы изменены эрозионными процессами, интенсивность проявления последних может свидетельствовать о характере и знаке движений.

Огромную роль при структурно-тектонической интерпретации рельефа играет анализ продольных профилей речных долин, особенно в горных районах, где часто наблюдаются изменения наклона, деформации террас, погружение их под современный уровень дна долин, т. е. явления, связанные с резко выраженными дифференцированными тектоническими движениями. Не меньшее значение имеет также изучение конусов выноса и сухих дельт, отдельных элементов склонов, горно-ледникового рельефа, карстовых форм. Первостепенную информацию о тектонических движениях дает анализ поверхностей выравнивания.

Морфометрический (структурно-морфометрический) метод. Этот метод изучения тектонических движений и связанных с ними структур заключается в разложении на составные части рельефа, изображенного на топографических картах горизонталями, и составлении ряда специальных карт с последующей геолого-геоморфологической интерпретацией. Наиболее успешно метод применяется в платформенных областях. В его основе лежит количественная характеристика элементов рельефа, позволяющая выявлять структурные формы различных порядков и тектонические движения как в платформенных, так и в складчатых областях. При крупномасштабной геологической съемке выявление тектонических движений и связанных с ними структурных форм, к которым могут быть приурочены различные полезные ископаемые, имеет первостепенное значение. В решении этой задачи морфометрический метод, не требующий, кстати, проведения дорогостоящих полевых работ, обладает несомненными достоинствами.

Все приемы морфометрического анализа изложены в специальном руководстве В. П. Филоsofova (1960 г.). Кроме составления предлагаемых в этой книге карт: порядков долин, асимметрии долин и междуречий, базисных поверхностей, остаточного рельефа, вершинной поверхности, сноса и разностей базисных поверхностей — морфометрический метод обладает рядом дополнительных способов, к которым в первую очередь следует отнести составление карт и картограмм коэффициентов энергии глубинной эрозии (Г. И. Худяков, 1963 г.), коэффициентов густоты и глубины эрозионного расчленения (В. Б. Полканова, 1966 г.), коэффициентов извилистости рек, уклонов рек, заболоченности и направления стока болотных вод и ряда других. В последнее время все большее значение приобретает метод изучения мегатрещиноватости линейamentos, под которыми понимается совокупность всех линейных элементов рельефа и растительного покрова, отражающих всевозможные дизъюнктивные нарушения (И. Г. Гольбрайх и др., 1968 г.).

При структурном изучении района, а также анализе поверхностей выравнивания может быть использован камеральный метод составления

совмещенных профилей. Они располагаются, как правило, вкрест направления основных орографических элементов и представляют собой ряд параллельных профилей, последовательно наложенных на один основной (базисный) профиль; следующие профили последовательно накладываются на первый, восстанавливая характер поверхности до ее расчленения позднейшей эрозией; конечным результатом служит собственно геоморфологический профиль, на который наносят геологический разрез. Составление совмещенных профилей преследует, по существу, ту же цель, что и построение карт базисных поверхностей: «снять» позднейший эрозионный фон, дополнить и реконструировать первичный рельеф по определённому срезу.

При всех морфометрических построениях следует постоянно иметь в виду, что интенсивность процессов эрозии связана не только с тектоническими проявлениями, но и с литологическими особенностями, климатическими и гидрологическими условиями. Поэтому не существует общих критериев интерпретации результатов применения морфометрических методов, они будут различными для разных ландшафтных зон.

Изучение вулканического рельефа. Вулканический рельеф может быть аккумулятивным, т. е. возникшим в результате накопления вулканогенных образований, и денудационным (деструкционным), срезающим поверхность аккумуляции вулканогенных пород под различными углами и на различную глубину. При геологической съемке районов распространения молодых (современных и в ряде случаев неоген-четвертичных) вулканогенных пород геоморфологические методы могут применяться как вспомогательные и служить в основном лишь для начального определения различных типов вулканических построек и слагающих их пород.

Изучение деструкционного рельефа оказывает прямую помощь геологосъемочным работам, однако оно сопряжено со значительными трудностями. Главным затруднением является, как правило, недостаток фактического материала, который мог бы однозначно свидетельствовать в пользу сохранения более древних, чем неоген-четвертичные, вулканических форм рельефа. Последние, являясь структурно-денудационными (поскольку они представляют собой отпрепарированную вулканическую структуру), не обладают прямыми геоморфологическими признаками, поэтому их выделение связано с использованием косвенных признаков, т. е. господствующих высот района, форм вершин, крутизны склонов отдельных возвышенностей, поведения водораздельных поверхностей выравнивания. В ряде случаев вулканические аппараты устанавливаются уже в процессе предварительного дешифрирования аэрофотоснимков — по обхватно-кольцевой и радиальной системам гидросети, дуговым изгибам водоразделов и другим признакам. Немалое значение, особенно в районах, сложенных вулканогенными породами с пологим падением или горизонтальным залеганием, имеют морфометрические методы.

Во многих случаях методы изучения древнего вулканического рельефа основываются на различной степени устойчивости пород процессам денудации, особенно это относится к отпрепарированным магматическим формам: пластовым интрузиям, лакколлитам, дайкам, батолитам, штокам.

Отпрепарированные пластовые интрузии характеризуются выровненностью поверхности, отсутствием эффузивных форм микрорельефа, денудационными останцами древнего рельефа, сложенными вмещающими породами. Наклонно и вертикально залегающие пластовые интрузии могут быть выражены в виде гряд, ориентированных по простиранию интрузий. Отпрепарированные лакколлиты внешне часто похожи на куполовидные вулканы, отличаясь, однако, от последних периклинально падающими пластами осадочных пород, налегающих на интрузии.

живную породу. Обычно очень хорошо видны в рельефе дайки в виде цепочек гряд или увалов. Вулканические жерла (некки, жерловины и т. д.), сложенные обычно более стойкими породами, чем конусы вокруг них, препарируются в виде столбов, отдельных скал, резко выступающих конусов и т. п.

Изучение поверхностей выравнивания. При этом преследуется обычно двойная цель: прежде всего поверхности выравнивания фиксируют основные этапы истории развития рельефа и поэтому к ним могут быть привязаны по возрасту остальные геоморфологические элементы; во-вторых, с образованием поверхностей выравнивания связано формирование кор выветривания и присущих им полезных ископаемых — золота, алмазов, бокситов, железных, марганцевых руд и ряда других.

Поверхности выравнивания представляют собой, как правило, участки сглаженного рельефа междуречий, имеющие общий уклон в соответствии с падением тальвегов древних долин, способствовавших образованию поверхностей. Горизонтальные поверхности выравнивания — очень редкое явление; чаще они представлены пологими (от 3 до 5°) склонами, причем колебания высот между крайними участками поверхностей могут достигать 200—300 м. Для поверхностей выравнивания характерен равнинный, пологосклонный рельеф междуречных пространств; им присуще одинаковое положение форм рельефа, фиксирующее определенный уровень древней поверхности.

Иногда в понятие «поверхность выравнивания» включают также и аккумулятивные поверхности (равнины, террасы и т. п.), что не соответствует смыслу этого понятия в геоморфологии. Наиболее удачным представляется определение Ю. Ф. Чемекова (1963 г.), который пишет, что это «... поверхность, срезающая в различной степени дислоцированные горные породы, структура и литологический состав которых находит лишь слабое отражение в деталях ее рельефа, ... возникшая в результате длительных процессов комплексной денудации в условиях спокойного (почти стабильного) тектонического режима».

Первоначальные сведения о поверхностях выравнивания дает внимательный просмотр топографических карт, на которых хорошо видна общая ярусность рельефа. Аэрофотоснимки для этой цели применяются (см. ниже), хотя и менее пригодны, если они охватывают незначительные площади. Однако главными в изучении поверхностей выравнивания являются полевые геоморфологические методы. Наиболее тщательно изучению подлежат собственно выровненные участки, часто являющиеся реликтами поверхностей выравнивания, сохранившими свой первоначальный облик. Выяснение генетической принадлежности поверхностей обычно не связано с большими трудностями — все они в целом имеют денудационное происхождение и отличаются лишь способами денудации, зависящими в основном от приуроченности района к определенным ландшафтным (палеоландшафтным) зонам.

Основным и трудным вопросом в изучении поверхностей выравнивания является выяснение их возраста. Обычно он определяется отрезком времени, в течение которого происходила планация рельефа. Ясно, что такое определение относится лишь к фиксированным, т. е. погребенным под корами выветривания или другими отложениями, поверхностям. Во всех остальных случаях верхний возрастной рубеж образования поверхности практически неопределим, поскольку денудация, правда с различной степенью интенсивности, воздействует на поверхность постоянно.

Г. С. Ганешин, В. В. Соловьев и Ю. Ф. Чемеков (1970 г.), говоря о проблеме возраста рельефа, вводят несколько понятий: а) длительность формирования рельефа — время, прошедшее от начала до завершения формирования рельефа; обе эти даты привязываются к шкале

относительного или абсолютного возраста; б) геологический возраст рельефа — время завершения его формирования и перехода в реликтовое состояние, когда изучаемая форма рельефа перестала испытывать воздействие комплекса процессов, в результате которых она образовалась; в) длительность существования реликтового рельефа — время, в течение которого сохраняется завершившая свое развитие форма рельефа.

При определении возраста поверхностей выравнивания, так же как и других элементов денудационного рельефа, наиболее часто используются метод возрастных рубежей, метод корреляционных отложений и морфологический метод увязки поверхностей выравнивания с другими элементами рельефа. Нижняя граница формирования поверхности выравнивания определяется геологическим возрастом наиболее молодых пород, срезаемых ею; большое значение имеет изучение коррелятивных отложений, позволяющее выявлять внутри эпохи пенепленизации даже кратковременные этапы большей или меньшей интенсивности денудационных процессов.

Геоморфологическое изучение долин. Оно является наиболее важным разделом в общем комплексе исследований. Необходимость особенно тщательного изучения долин диктуется тем, что оно дает ключ к пониманию истории развития рельефа исследуемой территории; кроме этого, именно с аллювиальными отложениями связаны наиболее богатые россыпные месторождения. Речные долины — весьма сложные формы рельефа, на образование которых оказывают влияние характер тектонических движений, литологические особенности горных пород, климатические изменения во время их формирования, наконец, различные формы скульптурного и аккумулятивного рельефа, созданные ранее заложения рек.

Наиболее крупные различия в типе речных долин обусловлены особенностями тектонической обстановки, в которой происходит их развитие. Районы с преобладающей тенденцией к поднятию характеризуются долинами, выработанными в коренных породах, с цокольными террасами и покровом аллювиальных отложений небольшой мощности. В районах, испытывающих прогибания, слои древнего аллювия перекрываются мощными слоями более молодого аллювия, причем не образуются выраженных в рельефе террас. Эти долины обычно широкие, плоские, с небольшим количеством молодых террас. Изучение их обычными геоморфологическими методами позволяет расшифровать лишь самые последние этапы развития; более ранние этапы могут быть выяснены только при детальном геологическом изучении, сопровождаемом глубоким бурением, так как древние террасы погребены под толщами более молодых отложений. В районах, испытывавших попеременно поднятия и опускания, могут образовываться сложные долины с цокольными террасами, погребенными под мощными толщами более молодого аллювия, в котором, в свою очередь, при новых поднятиях вырабатываются долины с цокольными террасами, но уже вырезанными в толще рыхлых отложений. Если долины развиваются на территории, испытавшей недифференцированные поднятия, а общий равномерный подъем, то вырабатываются долины с террасами, относительная высота которых возрастает вниз по течению. Не следует забывать, однако, что локальные террасы могут быть и не связанными с тектоническими движениями, а возникшими под влиянием местных базисов эрозии.

Морфологический облик долин зависит также от литологических и структурных особенностей коренных пород, в которых они выработаны. Обычно при пересечении участков, сложенных устойчивыми породами, долины суживаются и имеют менее разработанный вид, а на участках, сложенных легко размываемыми породами, — расширяются и обладают хорошо террасированными склонами. Влияние структурных особенно-

стей субстрата сказывается в том, что долины часто закладываются по линиям тектонических нарушений — разломам, сбросам и т. п., поскольку зоны тектонического раздробления пород являются менее устойчивыми. Нередко направление долин совпадает с направлением складчатости, т. е. они закладываются на выходах малоустойчивых пород вдоль осей синклинальных и антиклинальных складок или полос моноклинально залегающих пород. Подобные долины, в отличие от тектонических (грабен), называются «приспособившимися» синклинальными, антиклинальными или моноклинальными долинами.

Влияние рельефа, сформировавшегося до заложения долин, особенно характерно для районов, подвергавшихся материковому, горному оледенению или трансгрессиям моря. После отступления ледника или моря речная сеть закладывается снова, причем образуются четкообразные долины, состоящие из озер, заполняющих котловины (например, скальные ванны, выпаханые ледником, или аккумулятивные котловины моренного ландшафта), соединенных участками долин эрозионного происхождения.

Помимо отличий, обусловленных тем или иным генетическим типом, долины характеризуются количеством пережитых эрозионных циклов. Обычно, говоря о циклах эрозии и отдельных ее стадиях, подразумевают последовательные изменения в морфологическом облике долины от ущелья через V-образную долину к ящикообразной (пойменной) долине. Надо помнить, что в районах, испытывающих опускания, развитие долин идет иным путем, и здесь каждый этап опускания вызывает цикл аккумуляции, приводящей к погребению ранее созданных форм пойменного рельефа, причем морфологический облик долины не претерпевает существенных изменений. Известны случаи, когда одна и та же долина (например, долина р. Кубани) в различных своих частях подвергается воздействию разнонаправленных тектонических процессов.

При исследовании долин особое значение имеет изучение речных террас, которые, подобно поверхностям выравнивания, наиболее четко фиксируют основные этапы истории развития района. Существует много определений речных террас, поскольку их происхождение различными исследователями толкуется по-разному. В «Словаре географических терминов» (1968 г.) они определяются как горизонтальные или слегка наклонные площадки на склонах речных долин, которые ограничены уступами сверху и снизу и представляют собой остатки прежнего дна долины реки.

В зависимости от того, насколько глубоко был врез русла реки, превративший пойму в террасу, превысил ли он по амплитуде мощность аллювия поймы или был меньше ее, различают аккумулятивные террасы, возникающие в результате аккумулятивного выравнивания, и эрозионно-аккумулятивные (цокольные) террасы, образующиеся вследствие эрозионного врезания. Кроме этого, выделяют еще цокольные террасы, когда плотик аллювиальных отложений лежит выше современного уровня реки.

Изучение речных террас требует особенно тщательного определения их высоты. Замеры высот надо производить на характерных точках в изломах профиля: у тыловых швов, на поверхностях и бровках террас, у бровок склонов долин. Обычно для определения высоты террасы, учитывая, что ее бровка размыва, а части, прилегающие к тыловому шву, повышены делювиальными накоплениями, рекомендуют брать среднее арифметическое между отметками бровки и тылового шва. Это нельзя признать правильным, так как мощность делювиального плаща у тылового шва и мощность аллювиальных отложений, смытых с поверхности террасы близ ее бровки, величины, независимые друг от друга и, как правило, различные. Поэтому если на террасе не сохранилась горизонтальная площадка, измерение которой дает истинную высоту,

последняя может быть определена после того, как будет выяснена полнота разреза аллювия: она будет равна разности отметок от уреза воды до верхних слоев фации пойменных отложений, венчающих разрез аллювиальных отложений террасы.

Известно, что плотики поймы, а следовательно, и плотики террас характеризуются большой устойчивостью в отношении колебания высот. Поэтому в случае полного или частичного размыва аллювиального покрова террасы ее высота определяется методом реконструкции — по высоте плотика плюс средней мощности аллювия или отдельных недостающих фаций, выясненной при изучении смежных, лучше сохранившихся разрезов. На террасированных склонах точки замера высот террас должны быть на всех переломах поперечного профиля долины, а при отсутствии резко выраженных переломов — на достаточно близком расстоянии друг от друга, чтобы в результате получилось представление об общем характере профиля склонов (ровный, вогнутый и т. п.).

На поверхности террас должны быть отмечены как сохранившиеся формы первичного микрорельефа, так и позднее сформировавшегося — вторичного: делювиальные плащи, оползни, конусы пролювиальных отложений, ложбины размыва, дюны и т. д. Особое внимание необходимо обратить на выявление границ участков с размывом и сохранившимся аллювиальным покровом.

При изучении речных долин одной из главных задач является корреляция отдельных наблюдаемых участков террас и увязка их по продольному профилю реки. Для решения этой задачи необходимо составлять продольные профили террас, на которых должны найти графическое выражение все данные о террасах: высота цоколей, разрезы аллювия, высота неразмытой или размывтой поверхности и т. д. Участки поверхности одной и той же террасы соединяются на профиле штриховой линией, причем в случае размывтого покрова аллювия эта линия проводится на высоте, соответствующей реконструированному положению участка террасы. Кроме этого, должны составляться поперечные профили долин, причем вертикальный их масштаб должен соответствовать таковому продольных профилей. Продольные профили террас позволяют выявить характер молодых тектонических движений, пережитых районом. Надо отметить, однако, что наличие участков с довольно крутым падением как продольного профиля русла, так и профиля террас не всегда является указанием на наличие последующих тектонических деформаций. Даже у рек, достигших значительной зрелости, обладающих хорошо разработанными поймами, сохраняется некоторая ступенчатость профиля, связанная с первоначальной формой ложа, хотя в ходе развития долины она постепенно сглаживается.

Изучение рельефа областей древних материковых оледенений. Области бывшего материкового оледенения характеризуются четко выраженной зональностью рельефа, причем расположение зон концентрическое. Обычно различают три зоны: зону рельефа, созданного ледниковой эрозией, занимающую центральную часть области, зону холмистого аккумулятивного моренного рельефа и периферическую перигляциальную зону с рельефом, в формировании которого значительное участие принимали талые воды ледниковых покровов. Для этой последней зоны помимо остатков рельефа, существовавшего до эпохи оледенения, характерны зандровые поля, долины стока талых вод ледника и междуречья, покрытые лёссовыми отложениями. Кроме этого, внутри каждой из зон наблюдается более мелкая зональность, обусловленная временными остановками в отступлении ледника, вплоть до поясов годичных морен.

При изучении форм, созданных экзарацией — «нунатаков», «бараньих лбов» и скалистых выпаванных ванн, необходимо обратить внимание

на приуроченность этих форм к выходам определенных пород, так как очень часто бараньи лбы приурочены к наиболее устойчивым, а скалистые ванны — к наименее устойчивым породам, причем и те и другие формы могут иметь ориентировку, связанную с простиранием геологических образований района. Изучая экзарационные формы рельефа, надо стремиться собрать данные о направлении движения ледника и мощности ледникового покрова. Направление движения ледника определяется по направлению ледниковых шрамов, однако необходимо отметить, что направление шрамов характеризует лишь местное направление ледника, подверженное некоторым колебаниям, в связи с чем часто наблюдается перекрещивание двух направлений шрамов; общее направление может определяться и по наблюдениям над «полировкой бараньих лбов», так как полировка приурочена к склонам, направленным против движения ледника. Надо также провести наблюдения над верхней границей полировки, по которой в горных областях можно судить о мощности ледникового покрова.

При изучении аккумулятивных форм рельефа, созданных покровным оледенением, необходимо прежде всего разграничить участки с развитием основной морены и участки конечных морен. Последние образуют обычно довольно четко выраженные в рельефе гряды, гирлянды гряд или валы, вытянутые в соответствии с внешним краем ледника и заметно возвышающиеся над окружающей местностью. По происхождению конечные морены подразделяются на морены насыпные (морены вытаивания) и морены напора. Различать эти два типа морен можно только в результате изучения их внутреннего строения. В районах развития основной морены преобладает беспорядочный холмистый рельеф, хотя местами, вследствие выпахивающего действия ледника, моренные и флювиогляциальные отложения переотлагаются в вытянутые по направлению движения льда холмы, имеющие эллипсоидальные очертания, напоминающие по форме бараньи лбы и носящие название друмлинов. В области распространения основной морены и форм, созданных экзарацией, флювиогляциальные формы представлены зандрами, маргинальными озами, флювиогляциальными дельтами.

Изучение форм доледникового погребенного рельефа сводится к определению абсолютных высот возможно большего количества точек, лежащих на поверхности доледниковых отложений, для чего используются все обнажения и буровые скважины. На основе полученных данных составляют карту доледникового рельефа, который изображается при помощи изогипс. Кроме этого, полезно составление нескольких типичных геолого-геоморфологических разрезов или блок-диаграмм и установление по ним соотношений между современным рельефом и формами поверхности доледниковых отложений.

Изучение карстовых форм рельефа. Они создаются в результате действия воды на известняки, доломиты, гипсы, соль и другие растворимые породы. Наряду с растворением в образовании многих карстовых форм принимают участие и другие процессы, например эрозия поверхностных и подземных водотоков и обвалы над образовавшимися в толще пород пустотами. Интенсивность развития карста, характер и масштаб образуемых форм зависят от степени растворимости пород, характера их трещиноватости, химического состава грунтовых вод, гидрогеологической обстановки, обусловленной тектонической структурой, и, наконец, от продолжительности существования условий, благоприятных для карстообразования.

При изучении карстовых форм надо обращать особое внимание на выявление зависимости морфологического облика форм рельефа и густоты их развития от характера карстующихся пород. Для этого на площадях, занятых карстующимися породами, должны быть изучены различные формы карстового рельефа (воронки, колодцы, шахты и бо-

лее крупные формы), выявлены их размеры (глубина, очертания в плане), связь их ориентировки с трещиноватостью пород, а на отдельных участках, в пределах развития карстующихся пород различного химического состава и различной трещиноватости, должно быть подсчитано количество форм в пересчете на 1 км² площади.

В развитии карста помимо характера карстующихся пород значительную роль играет характер топографической поверхности. На крутых склонах выпадающие атмосферные осадки стекают слишком быстро, не успевая просачиваться на глубину, поэтому карстовые формы обычно приурочены к районам с развитием горизонтального покрова известняков: в горах — к поверхности выравнивания на междуречьях, а в долинах рек на террасах, на днищах или на участках с пологими склонами. Поэтому выявлению изменения характера карстовых форм рельефа и густоты их развития в зависимости от приуроченности к тем или иным формам рельефа также должно быть уделено внимание.

Большое значение имеет выявление стадии карстового цикла, переживаемого районом, а также и предшествующих карстовых циклов, особенно для решения практических задач, связанных с поисками россыпных месторождений. С этой точки зрения наибольший интерес представляют формы, созданные в заключительные стадии цикла карстообразования, когда приостанавливается рост карстовых воронок, поноры на их днищах заплывают и замазываются нерастворимыми продуктами выветривания, а воронки располагаются настолько низко по отношению к уровню грунтовых и поверхностных вод, что могут заполняться аллювиальными отложениями. Такие погребенные аллювием воронки могут встречаться на поймах, речных террасах и днищах древних долин, развитых на междуречьях.

Определение возраста карстовых форм, не содержащих рыхлых отложений, является более сложной задачей. Иногда и при отсутствии рыхлых отложений вопрос о возрасте форм может быть решен путем изучения ярусности в расположении карстовых форм и увязки их с соответствующими террасами речных долин.

КРАТКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ПРИНЦИПАХ СОСТАВЛЕНИЯ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

Геоморфологические карты общего содержания, в отличие от геологических карт, могут составляться по различным принципам. Три из них — картирование генетически однородных поверхностей, морфогенетический и «возрастной» — получили в последнее время наибольшее распространение в СССР.

1. Генетически однородной поверхностью, или гранью рельефа, называется однородная по генезису и морфологическим особенностям, ограниченная естественными границами поверхность, образованная одним или несколькими взаимодействующими процессами. Картирование, следовательно, сводится к определению ведущего агента в образовании поверхности и установлению ее естественных границ.

В настоящее время метод картирования генетически однородных поверхностей принят для составления геоморфологических карт масштаба 1:1 000 000 (новая серия); он рекомендуется также для карт более крупных масштабов. В конце книги приведена типовая легенда для геоморфологических карт, составленных по методу выделения генетически однородных поверхностей (см. приложение).

2. Составление морфогенетических карт заключается в выделении форм рельефа и их частей, обусловленных определенными процессами морфогенеза. Надо отметить, что морфогенетические карты менее других отвечают задачам крупномасштабных геологосъемочных работ, так

как в основе самого метода лежит представление о крупных категориях рельефа — типах, комплексах типов и т. д.

3. Основой составления карт по «возрастному» принципу является представление об этапах развития рельефа. Характеристика форм рельефа с точки зрения периода их образования изображается на картах цветом, остальные показатели рельефа — другими средствами.

АЭРОФОТОМЕТОДЫ ПРИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Задачами геоморфологического дешифрирования при крупномасштабной геологической съемке являются: а) изучение и картирование отдельных форм, частей форм и микроформ рельефа применительно к задачам различных видов исследований, входящих в комплекс геологосъемочных работ, б) выявление геоморфологических индикаторов различных объектов этих исследований.

При крупномасштабном геоморфологическом дешифрировании, по сравнению со среднемасштабным, увеличивается удельный вес количественных методов характеристики рельефа, направленных на выявление и оценку геоиндикационной роли его мезо- и микроформ. Во всех случаях изучение морфометрии рельефа начинается с сопоставления фотосхем (фотопланов) с топографическими картами. Те морфометрические показатели, которые нельзя установить по топографическим картам, могут быть получены в результате стереофотограмметрических измерений. Способы и приборы, используемые при работе с аэрофотоснимками равнинных и горных районов, охарактеризованы в гл. II и III, т. 1.

В условиях равнинного рельефа особое значение имеют различные морфометрические методы выявления современных тенденций развития рельефа, основанные на тщательном анализе эрозионной сети. Этот анализ ведется преимущественно по топокартам, но обязательно дополняемым данными дешифрирования аэрофотоснимков. Непосредственно по аэрофотоснимкам можно, например, определять густоту эрозионного расчленения, коэффициенты извилистости речных русел, площади водосбора и другие характеристики рельефа теми же методами, что и при работе с топографическими картами.

В тех же целях могут определяться по аэрофотоснимкам изменения линейных размеров форм микрорельефа и закономерностей их расположения в плане: изменения ширины и ориентировки песчаных гряд, размеров, конфигурации западин и их числа на единицу площади и многих других показателей. Эти и другие плановые характеристики рельефа можно получать простыми геометрическими способами измерений, выполняемыми по одиночным аэрофотоснимкам, или же в результате стереофотограмметрических измерений на простых приборах.

Необходимость в большом числе измерений для получения надежных данных при последующей математической обработке делает такой путь работы весьма трудоемким. В связи с этим ведутся поиски способов частичной или полной механизации получения подобных характеристик по аэрофотоснимкам. Так, например, применяется метод дифракционного анализа (И. А. Черкасов, 1967 г.) для определения азимутов простирающихся линейных форм рельефа и средних расстояний между ними, например песчаных гряд (В. Г. Можяева, 1970 г.).

Наряду с фотограмметрическими разрабатываются также и микрофотометрические способы получения средних плановых размеров мелких форм рельефа, основанные на различиях в оптических плотностях между изображениями измеряемых объектов или последних и ос-

новой поверхности [433; т. 1, гл. VII], (Ю. В. Углев, 1967 г.). Микрофотометрические измерения используются для оценки микрорельефа, характерного для разреза определенных толщ в обнажениях (Н. В. Кобец, 1967 г.). Аналогичным способом возможно определение количества и суммарного размера площадей, занимаемых западинами на определенном участке.

Относительный возраст рельефа определяется по его приуроченности к различным гипсометрическим уровням и по степени сохранности геоморфологических комплексов, находящихся в одинаковых геоструктурных и ландшафтных условиях.

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ФОРМ РЕЛЬЕФА РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА

При изучении форм эрозионного рельефа дешифрирование, основанное на известных из общей геоморфологии принципах, как правило, чрезвычайно эффективно. Сведения, получаемые при изучении эрозионной сети по материалам аэрофотосъемки, позволяют судить о структурных и литологических особенностях района, о проявлении новейших тектонических движений, об эрозионных циклах формирования рельефа, о возрасте его поверхностей, а также оценивать перспективность участков в поисковых целях.

Наряду с известными типами рисунков малой речной сети (дендритовидным, параллельным, решетчатым, центробежным, центростремительным, кольцевым и др.) в каждом районе имеются свои характерные рисунки, обусловленные индивидуальными особенностями литологии, структуры и климата. Надо иметь в виду, что сходные рисунки в различных, удаленных друг от друга районах совершенно не обязательно свидетельствуют о сходных чертах геологического строения.

Рисунок потяжин и мелких водороев, столь четкий на аэрофотоснимках и весьма существенный для геологического дешифрирования особенно равнинных районов, на картах вообще не отображается. Изменения направления, формы, ширины и других характеристик речных долин, а тем более балок и оврагов не всегда удовлетворительно передаются топографической картой, но с большой детальностью могут быть изучены по аэроснимкам, и по ним может быть получена количественная оценка (см. выше). В качестве примера приведем долину одной из рек. Река пересекает три толщи: граниты и гранодиориты, массивные известняки и песчано-сланцевые отложения. На топографической карте в ее долине отмечаются два резко различных участка: прямолинейный (гранодиориты и известняки) и участок с крупными меандрами (песчано-сланцевая толща). На снимке прямолинейный участок неоднороден; в пределах развития интрузии русло имеет очень незначительной протяженности угловатые колена, обусловленные, видимо, системами трещиноватости; кроме того, в меандрах хорошо видны небольшие по площади, но хорошо сформированные аккумулятивные террасы, лишь слабо намечающиеся на топографической карте.

Выделение по аэрофотоснимкам участков долин со специфическими особенностями (сужение, расширение, переуглубление, спрямление, избыточное меандрирование, наличие локальных террас, перехваты и т. д.) на значительных площадях существенно облегчает решение вопросов, связанных с историей развития долин, с сопоставлением террас как в пределах одной долины, так и соседних долин, определение их порядка и проведение возрастной корреляции аллювия, а также оценку особенностей литологии и структуры коренных пород и новейших тектонических движений. Как правило, на аэрофотоснимках с трудом выделяются поймы, не имеющие специфического рисунка, что свойственно горным рекам, где пойма развита фрагментарно и почти не отличается от

I надпойменной террасы, разобщенные I и II террасы, близкие по высоте; высокие террасы, сохранившиеся в виде фрагментов, перекрытые делювием или интенсивно расчлененные эрозией, особенно при сплошном лесном покрове, маскирующем уступы и швы террас. Если террасы не видны стереоскопически, при дешифрировании долин необходимо очень внимательно проследивать мельчайшие изменения в растительности, тоне и общем рисунке фотоизображения, что может помочь их обнаружить. В каждом случае могут быть индивидуальные признаки, по которым можно не только обнаружить террасу, но и определить ее порядок.

Рисунки поверхностей древних террас разнообразны и обусловлены различными факторами: приуроченностью к ним определенного почвенно-растительного покрова и деятельностью человека. Особенно сильно преобразованы высокие террасы крупных европейских рек. У горных рек высокие террасы часто сохраняются в виде небольших останцов, расположенных иногда на разных уровнях под влиянием неотектонических движений. Корреляция их не всегда возможна по аэрофотоснимкам.

Характер рельефа озерных и морских побережий (регрессивный или трансгрессивный), размер и конфигурация бассейна, наличие аккумулятивных или абразионных террас, эстуарные устья рек, оползни, бары, косы, отмели прекрасно устанавливаются по аэрофотоснимкам.

При дешифрировании выявляются следы регрессии бассейна, выражающиеся в серии аккумулятивных и абразионных уступов, береговых валов, абразионных останцов, рельеф «ряби» на днищах исчезнувших озер, используемые при оценке неотектонической активности отдельных участков побережий по аэрофотоснимкам. Часто на аэрофотоснимках хорошо виден рельеф мелководной части дна бассейна. Таким образом, можно установить подводные дельты и русла рек, отмели, а на участках абразии — геологические структуры (З. И. Гурьева, К. М. Петров, Н. С. Рамм, В. В. Шарков, 1958 г.). В незалесенных районах на аэрофотоснимках легко опознаются также и реликтовые озерные формы.

Исключительную эффективность имеет геоморфологическое дешифрирование в районах современного и четвертичных оледенений. На аэрофотоснимках можно объективно и достоверно изучить и закартировать основные типы и формы ледникового и водно-ледникового рельефа.

В горных районах дешифрирование форм рельефа, обусловленных аккумулятивной и экзарационной деятельностью ледников, особенно эффективно из-за трудной их доступности другим видам исследований. По плановым аэрофотоснимкам, дополняемым перспективными и наземными фототеодолитными, выявляются все детали морфологии ледника и созданного им и тальми ледниковыми водами рельефа (рис. 1). При повторных съемках удается проследить пути, скорости и сезонность движения современных ледников. На аэрофотоснимках непосредственно видны троговые долины, иногда системы трогов, вложенных друг в друга (следы нескольких стадий оледенения), курчавые скалы, кары и лестницы каров, карлинги, ригели, ледниковые борозды, при дешифрировании иногда принимаемые за простирания коренных пород, маргинальные каналы. Столь же отчетливо отображаются и формы аккумулятивного рельефа: боковых и конечных морен, зандров и др. Несколько сложнее дешифрирование форм, созданных древними четвертичными оледенениями. Так, например, на рис. 2 видны различия в морфологии отдельных поверхностей. В центральной части наблюдается участок ДЭ₃, сохранивший наиболее четкие следы оледенения — сглаженный низкогорный рельеф. На западе низкогорный рельеф значительно более расчлененный, долины имеют другой профиль ДЭ. Восточная часть

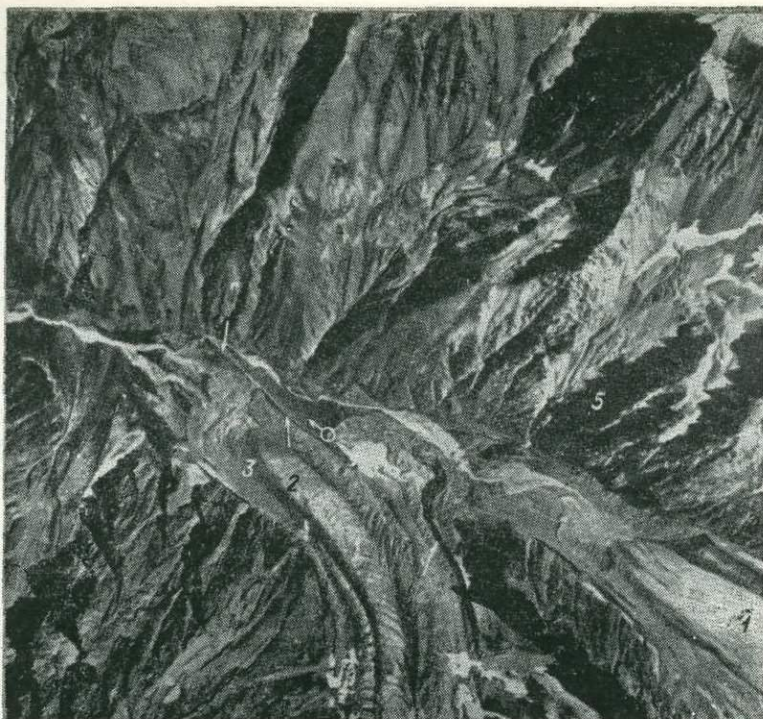


Рис. 1. Центральное поднятие горного хребта. Высокогорный ледниковый рельеф. 1 — ледники; 2—5 — элементы ледникового рельефа: 2 — боковые морены, 3 — конечноморенные стадильные валы, 4 — ледниковые отложения более ранней стадии оледенения, 5 — осыпи на склонах.



Рис. 2. Ледниковый рельеф позднечетвертичного горнодолинного оледенения в Восточной Сибири, интенсивно расчлененный эрозией.

площади занята среднегорным эрозионным рельефом, который морфологически резко отличается от разновидностей низкогорного рельефа Э.

На площади снимка прекрасно видно несколько сквозных долин 2. Они, очевидно, использовали разломы; разломы фиксируются и в других формах рельефа 1. На этой территории достаточно хорошо видны рыхлые отложения, выполняющие днища долин: аллювиальные а, пролювиальные б и ледниковые в.

Ледниковые и водно-ледниковые формы рельефа районов покровных четвертичных оледенений весьма своеобразны и, как правило, хорошо выявляются на аэрофотоснимках по широко известным особенностям их морфологии и другим признакам. Подробное освещение особенностей их дешифрирования с учетом возраста, влияния подстилающих пород и покровных отложений, а также новейших тектонических движений содержится в специальной работе «Дешифрирование четвертичных отложений...» [136].

Дешифрирование эоловых форм рельефа также весьма эффективно и особенно существенно при решении вопросов, связанных с изучением динамики эоловых ландшафтов и их связи с новейшими тектоническими движениями. В качестве примера можно привести участок северного побережья Каспийского моря, где среди поверхности с неоднородным серым тоном и пятнистым рисунком четко выделяются значительно более светлые массивы барханных песков. При дешифрировании можно по рисунку фотоизображения выделить почти все формы эолового рельефа. Они, как правило, хорошо видны стереоскопически. Под стереоскопом можно изучать морфологию песчаного массива и отдельных его элементов, определять господствующее направление ветра.

Формы эолового рельефа опознаются на аэрофотоснимках не только аридных, но и всех других ландшафтов в пределах боровых террас, задровых равнин и межгорных котловин как в открытых районах, так и под лесом по характерному облику, светлому тону поверхности, приуроченности определенных типов леса и следов современного переувлажнения. Материалы аэрофотосъемки позволили выявить неизвестные ранее факты контроля эоловых форм рельефа разрывными нарушениями и складчатыми структурами не только в условиях предгорных впадин (В. П. Мирошниченко, 1964 г.), но и платформы [14, 136].

Мерзлотные формы рельефа имеют характерный облик и прекрасно опознаются на аэрофотоснимках:

а) полигональные поверхности (с ячеистыми рисунками, различающимися по тону и конструкции ячей);

б) формы рельефа, созданные солифлюкцией, — потоки, террасы (рис. 3, 4);

в) торфяные бугры, грунтовые наледи и гидролакколиты;

г) термокарстовые западины (рис. 5).

В высокогорных районах легко опознаются формы альпийского рельефа, гольцовые поверхности или с альпийскими лугами. Гольцовые поверхности, лишенные растительности, покрытые каменными морями, имеют серый, в общем светлый тон, иногда слабоязвучный (за счет лишайников), иногда мелкопятнистый рисунок (крупноглыбовые россыпи). Участки медальонной тундры с куртинами карликовой березки, мхов и лишайников выделяются по неоднородному тону и пятнистому рисунку. На гольцовых поверхностях хорошо видны и солифлюкционные потоки в виде полос белесоватого или, наоборот, более темного тона, чем окружающая поверхность. Нагорные террасы на снимках чаще всего передаются своеобразным рисунком: короткие дуги концентрически окаймляют высшую точку гольца: реже они видны стереоскопически в виде нескольких или многих уступов, кулисообразно подходящих друг к другу.

Обнаружение широко развитых в горных областях древних поверхностей выравнивания, располагающихся на различных высотах, всегда сопряжено с трудностями. Инструментальное дешифрирование аэрофотоснимков помогает выявить останцы поверхности выравнивания, сравнить их друг с другом и установить их относительный возраст, а иногда определить амплитуду деформации поверхности выравнивания. В ряде районов древние поверхности выравнивания сохранились на значительных площадях. В этих случаях они, как правило, хорошо



Рис. 3. Солифлюкционные террасы на пологих склонах, сложенных карбонатными породами. Видна «гофрировка» контуров геологических тел, обусловленная солифлюкцией. Сибирская платформа.



Рис. 4. Нагорные террасы на анортозитах. Сибирская платформа (Е. С. Кутейников).

опознаются на аэрофотоснимках по выположенной слабохолмистой поверхности, по слабо врезанной речной сети, по дряхлому облику речных долин. Иногда хорошо видны несколько уровней поверхностей выравнивания, отделяющихся друг от друга четкими уступами. По резкой смене рельефа всегда отчетливо видна граница поверхности выравнивания с другими формами рельефа.

В горных областях всегда отчетливо выражены в рельефе и прекрасно опознаются на аэрофотоснимках разрывные нарушения различных масштабов, по которым проходили новейшие движения. Западный Саян от Тувы, например, отделяется серией уступов, местами сливающихся в единый четкий уступ — так выражены в рельефе глубинные Хемчикско-Систигхемский и Кандатский разломы. На топографической карте эти уступы улавливаются фрагментарно и не очень ясно; при полевых исследованиях эти участки также выявляются, но крайне ограниченный обзор не разрешает оценить сразу масштабность явления. Аэрофотоснимки и фотосхемы дают возможность выявить эту границу на всем протяжении и наметить места наиболее эффективного изучения ее в поле [13, 14, 282, 336].

Прекрасно дешифрируются все разновидности вулканического рельефа, особенно молодого (Армения, Камчатка и др.). Конусовидные вер-

шины, часто с кратерными воронками, «чешуи» лавовых потоков на склонах, крупные лавовые потоки и покровы на водораздельных поверхностях и высоких террасах, грязевые вулканы, эруптивные аппараты — все эти характерные формы хорошо видны на аэрофотоснимках и наблюдаются также в районах древнего вулканизма (Казахстан, Тувино-Саянская горная страна, Северо-Восток СССР). Хорошо дешифрируется группа структурных форм рельефа, таких как куэсты, отпрепарированные лакколиты, крупные дайки и т. д. На аэрофотоснимке их ни с чем нельзя спутать.

Оползни и обвалы широко развиты в горных областях и в долинах некоторых рек на равнинных территориях. Оползневые участки прекрасно опознаются на аэрофотоснимках как в обнаженных, так и в залесенных районах. В обнаженных районах очень четко видны оползневые цирки, характерные бугристо-западинные тела самих оползней; в случае древних, неоднократно возобновлявшихся оползней на снимках хорошо выделяются разновозрастные их генерации.

Суффозионный рельеф — просадочные западины — создает на поверхности своеобразный рисунок, благодаря чему эти участки легко опознаются на аэрофотоснимках (рис. 6). Пятна, отвечающие термокарсту, как правило, имеют правильные округлые очертания и более темный, чем окружающее пространство, тон.



Рис. 5. Разновозрастные термокарстовые западины, многократно наложенные одна на другую.



Рис. 6. Мерзлотные формы рельефа на приводораздельной части увала. Якутия.
1 — делли (солифлюкционные потоки); 2 — термокарст.

При дешифрировании карстовых форм рельефа прежде всего выделяются участки развития карстовых процессов. По аэрофотоснимку такие участки опознаются довольно легко, границы распространения карстовых форм в безлесных районах проводятся достаточно достоверно, в залесенных — иногда можно ошибочно уменьшить их площадь. Эти ошибки легкоисправимы при полевых работах, в то время как без

аэрофотоснимков выявление и картирование таких участков требуют значительно больших затрат времени и сил (В. Н. Кирюшкин и др., 1967 г.).

В пределах отдельных участков достаточно достоверно и легко выделяются различные типы карстового рельефа — воронки, поля, фиксируются исчезающие русла рек; изучается морфология этих участков и отдельных крупных форм; выясняются закономерности сочетания различных карстовых форм, их сохранность и размещение на поверхностях различной формы и уклонов; определяется зависимость карста от геологических структур. Карстовые формы при дешифрировании могут быть пропущены лишь в том случае, если карстообразование прекратилось, а закарстованная поверхность поросла лесом. При интенсивном карстообразовании даже на залесенных территориях карстовые формы видны отчетливо по поведению леса: пьяный лес, упавшие деревья и т. д. При изучении карста очень полезны аэровизуальные облеты территории, которые помогают и при последующем дешифрировании, и при полевых работах.

КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ

Внимание исследователей за последние годы привлекли округлые или эллипсовидные контуры на поверхности Земли, наблюдающиеся на аэрофотоснимках, снимках из космоса и топографических картах. Они выделяются обычно по элементам рельефа или плановому рисунку гидросети и носят название «кольцевые формы рельефа», «кольцевые морфоструктуры» или просто «кольцевые структуры». В эти названия иногда вкладываются различные понятия в зависимости от генезиса указанных выше структур.

К кольцевым структурам эндогенного происхождения относятся вулканические, вулканотектонические (вулканические аппараты, вулканические купола и депрессии) и тектонические, а к экзогенным — кольцевые формы рельефа: карстовые, термокарстовые, солифлюкционные, ледниковые (камы), грядово-мочажинные болота, аллювиальные (веера блуждания) и денудационные (столовые останцы, округлые выходы горизонтально лежащих пород и др.). В ряде случаев экзогенные кольцевые формы рельефа являются индикаторами погребенных или растущих эндогенных кольцевых структур и носят в этом случае название «кольцевые морфоструктуры». К ним относятся чаще всего аномалии в строении гидросети, а также в некоторых случаях кольцевые формы денудационного и аккумулятивного рельефа (см. т. 1, рис. 35—37). Крупные морфоструктуры центрального типа описаны В. В. Соловьевым (1978 г.).

Кольцевые структуры вулканического и вулканотектонического происхождения, а также метеоритные кратеры описаны в соответствующих разделах «Методического руководства» (см. т. 1, гл. VII—IX). Экзогенные кольцевые формы рельефа не нуждаются в описании. Что касается тектонических структур, то к ним могут быть отнесены изометричные складки (своды и мульды), диапировые антиклинальные структуры соляного и магматического происхождения (например, гранито-гнейсовые купола фундамента древних платформ) и блоковые структуры различного рода. Изометричные складки общеизвестны. У диапировых структур, как правило, внутренние слои более крутые, наружные — постепенно выполаживающиеся. В плане проекции выходов пластов имеют правильную округлую или овальную форму. Концентрическое залегание слоев на крыльях создает кольцевой рисунок, обычно наиболее четко выраженный близ ядра и постепенно нивелирующийся по мере удаления от него. На аэрофотоснимках таких складок в обнаженных районах прослеживаются концентрические выходы пластов (см. рис. 56),

а в двух- и трехъярусных районах кольцевой рисунок образует специфические компоненты ландшафта. В отличие от диапировых складок кольцевой рисунок на сводах и мульдах обычно наиболее четко выражен в периферической их части, на крыльях.

Блочные структуры — это блоки земной коры, ограниченные замкнутой системой разрывных нарушений. Разрывные нарушения в плане обычно прямолинейны, реже — дугообразно изогнуты, а их совокупность определяет полигональную форму структурного блока в плане, которая может быть изометрично-округлой, вытянутой эллипсовидной или грушевидной, прямоугольной или ромбовидной. При небольших амплитудах оконтуривающих разрывов блоки перемещены относительно друг друга на разную высоту, но залегание слоев в них не нарушено. У крупных блоков могут иметь место дислокации близ границ. Такая картина наблюдается, например, на некоторых участках северной окраины плато Путорана Сибирской платформы. При больших смещениях в соседних блоках вскрываются разновозрастные породы, дислоцированные по структурному плану, резко отличающемуся от окружающей местности. Такая картина имеет место на некоторых площадях Казахстана и Северо-Востока СССР. Обрамляющие такие блоки разрывы и приуроченные к ним складки могут контролировать размещение полезных ископаемых.

Изучением блоковых структур занимались Л. И. Красный (1967, 1972 гг.), М. А. Фаворская и И. Н. Томсон (1969 г.), Т. Н. Симоненко (1968 г.), Е. С. Кутейников и Н. С. Кутейникова (1974 г.) и другие исследователи. Размеры структурных блоков, многие из которых имеют округлые формы, варьируют от нескольких сотен метров до тысяч километров в поперечнике. Так, Л. И. Красный предлагает выделять геоблоки, мегаблоки, сложные и простые блоки, локальные блоки (с размерами в первые миллионы, сотни тысяч, десятки тысяч, тысячи, первые сотни квадратных километров соответственно) и разделяющие их мобильно-проницаемые зоны.

Округлые структурные блоки выделяются по дешифрирующимся на снимках кольцевым разломам, по автономному поведению ограниченных ими блоков, по геофизическим данным; на определенных уровнях эрозионного среза можно наблюдать дугообразное расположение пликативных структур и подчиненные дугообразным разломам проявления эффузивной и интрузивной деятельности. При наличии перекрывающих структурных этажей о таких структурах можно судить по плану разрывной тектоники и по материалам геофизических исследований.

Генезис структурных блоков недостаточно ясен и, вероятно, может быть различным. Высказываются предположения о связи их формирования с сиалическим слоем Земли [146], с гипотетическими зеленокаменными ядрами континентов. По мнению В. В. Забалуева, Н. С. Кутейникова и Е. С. Кутейникова, структурные блоки размером до сотен километров в поперечнике образуются в результате равномерного и всестороннего растяжения земной коры в зонах воздымания подобно тому, как растрескивается высыхающая поверхность такыра.

В зависимости от размеров блоков в пределах площади исследования они могут проявляться целиком или в виде отдельных частей. В последнем случае дугообразно изогнутые пликативные или разрывные линейные структуры часто оказываются составными частями крупных блоков (см. т. 1, гл. II, III). Интерес к этим ранее неизвестным кольцевым структурам больших размеров (даже на стадии крупномасштабных геологических съемок) связан с тем, что, во-первых, они позволяют понять положение изучаемых структурных форм в общем плане геологического строения региона, а во-вторых, исследования последних лет показали, что с оконтуривающими их кольцевыми разломами связаны эндогенные месторождения.

Разновидностью блоковых структур являются «циркульные глыбы», выделенные А. В. Волиным (1969 г.), Е. С. Кутейниковым и Н. С. Кутейниковой (1974 г.). Циркульные глыбы представляют собой, по данным этих исследователей, полукольцевые структуры, имеющие в плане форму сегмента или трапеции. Размер их по длинной оси составляет 10—100, по короткой — 10—50 км. Они развиваются вдоль выпуклых крыльев региональных флексур, поднятий, склонов горных хребтов, располагаясь полосами так, что их совокупность в плане местами напоминает рыбу чешую, ориентированную выпуклыми сторонами вверх по склону. Реже встречаются одиночные циркульные глыбы. Разрывы, оконтуривающие циркульные глыбы, представляют собой трещины отрыва-растяжения на выпуклом крыле поднятия, подобные трещинам, образующимся на склонах долин при развитии оползней. Величина смещения по ним в общем прямо пропорциональна амплитуде поднятия. По разрывам, представляющим собой ослабленные зоны растяжения, в большинстве случаев развита гидросеть.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Гидрогеологические наблюдения при геологической съемке выполняются силами геологической партии или специальным гидрогеологическим отрядом. В задачу гидрогеологических наблюдений входит получение данных, необходимых для общей характеристики подземных вод района съемки, условий залегания и распространения водоносных горизонтов, а также их формирования (питание, движение и разгрузка). При наличии нескольких водоносных горизонтов выясняется характер взаимосвязи их между собой и с поверхностными водами.

1. Основным видом гидрогеологических работ при геологической съемке являются маршрутные исследования, намечаемые с привлечением аэрофотоматериалов в предполевой период. В ходе полевых маршрутов производятся описание и опробование всех встречающихся водопунктов — как подземных (источников, колодцев, скважин), так и поверхностных (рек, озер и т. д.). Пробы воды могут быть проанализированы на базе партии или направлены в стационарную лабораторию для производства полных химических анализов. При маршрутных исследованиях необходимо:

а) нанести на карту местоположение водопункта или водопоявления (родник, шурф, мочажина и т. п.);

б) провести описание водопункта, обращая внимание на геоморфологические, фациально-литологические и геолого-структурные особенности данного участка, включая области питания и стока воды к водоисточникам (рельеф местности, геологическая структура, приуроченность подземных вод к определенным толщам пород, возраст водоносных пород, их петрографический и гранулометрический состав, характер слоистости и трещиноватости);

в) указать абсолютную отметку выхода воды и характер водопоявления на поверхности (нисходящий, восходящий, в виде грифонов и т. п.), а также описать минеральные отложения вблизи источника (охры, натёки, соли, грязи); отобрать их пробы на химический анализ;

г) описать физические свойства воды — цвет, запах, вкус, прозрачность, измерить температуру воды и воздуха; при этом надо отметить время замера (сезон года, день, час);

д) отобрать пробы воды (1 л) и свободно выделяющегося газа (0,5 л) для химического анализа в специально подготовленную посуду, снабженную соответствующими паспортами проб;

е) непосредственно у водопункта желательным образом определить pH, Eh, H₂S и др.;

ж) измерить дебит источника.

2. При описании и опробовании шурфов, дудок, колодцев, скважин кроме вышеперечисленного необходимо выполнить следующее:

а) определить глубину выработки, скважины и установившегося уровня подземных вод;

б) перед отбором пробы воды произвести откачку из расчета трехкратной смены воды в колодце или шурфе. В скважине для очистки ее от шлама и грязи откачка (насосом или желонкой) производится до полного осветления воды; ведутся наблюдения за восстановлением уровня подземных вод;

в) при вскрытии скважиной нескольких водоносных горизонтов желательным образом опробовать каждый из них в отдельности. При этом необходимо получить данные о конструкции скважины, отметить способ

изоляции водоносных горизонтов, интервалы перфорации обсадных труб, способ и продолжительность откачек;

г) произвести замер пластовой температуры воды с помощью максимального или заливленного родникового термометра.

3. При маршрутных исследованиях для характеристики поверхностных водоемов и водотоков производится:

а) описание рек, ручьев, определение расхода воды в них и отбор проб на химический анализ;

б) описание и опробование естественных и искусственных водоемов и фиксирование явлений заболачиваемости и засоленности;

в) выяснение связей поверхностных и подземных вод.

4. При геологической съемке изучаются не только сами подземные и поверхностные воды, но также и характер их деятельности (оползневые, карстовые, просадочные, суффозионные, пучинные и другие явления). В области развития мерзлоты наносится на карту и описываются наледи, гидролакколиты и т. п.

5. В процессе проходки горных выработок и бурения скважин проводятся наблюдения за уровнем подземных вод, их температурой, величиной поглощения промывочной жидкости и за выходом газа. Замеры уровней воды осуществляются с помощью электроуровнемеров, гидрогеологических рулеток или хлопущек с погрешностью $\pm 1-2$ см. Отбор проб воды и свободно выделяющегося газа при самоизливе производится на устье скважины, при отсутствии самоизлива водопробование осуществляется с помощью специальных пробоотборников (конструкции Е. В. Симонова, ПРИЗ-2, ПД-3М, ГПВ-60 и ППБ-2 и др.).

6. Для сравнительной характеристики водообильности пород и предварительной оценки дебитов из отдельных скважин производятся пробные откачки (при помощи насосов, свабирования или тартания) при 1—2 понижениях уровня, продолжительностью от 2 до 7 смен в зависимости от литологического состава и водоносности пород. В процессе откачки ведутся наблюдения за изменением уровня как в данной, так и в ближайших скважинах и горных выработках с целью выяснения взаимодействия и определения радиуса влияния производимой откачки.

7. При круглогодичной работе и наличии в партии гидрогеологического отряда производятся наблюдения за режимом подземных вод в определенных точках (скважины, горные выработки, родники), выбранных с учетом гидрогеологических особенностей района.

Особенности формирования подземных вод устанавливаются по изменениям во времени следующих параметров: а) уровней воды; б) дебитов водопунктов, температуры воды; в) химического и газового состава подземных вод. Периодически (1 раз в месяц) производят соответствующие замеры, отбор проб и анализ. На основе полученных данных составляют годовые таблицы и графики режимных наблюдений для каждой наблюдательной точки.

8. В период камеральных работ изучается и обобщается весь собранный материал, с привлечением данных дешифрирования аэрофотоснимков, и составляются глава «Гидрогеология» и схематическая гидрогеологическая карта масштаба 1:50 000. В главе «Гидрогеология» дается общая характеристика водоносности различных комплексов пород, изученных в районе. Приводятся сведения о химическом составе подземных и поверхностных вод и результаты изучения их режима. Освещается значение и использование подземных вод в народном хозяйстве. На схематической гидрогеологической карте отображаются следующие данные: а) распространение водоносных горизонтов; б) глубина залегания подземных вод; в) минерализация и химический состав подземных вод.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

На аэрофотоснимках колодцы и другие искусственные водоисточники выделяются по их геометрически правильной форме. Общее положение колодца или источника, как правило, удается установить на аэрофотоснимках также по пятну, резко отличающемуся по тону от окружающей местности, по изображению сходящихся троп и дорог, по приуроченности к отрицательным формам рельефа. На крупномасштабных аэрофотоснимках изображаются сруб колодца и его устье, резервуар для воды, лотки для водопоя скота, водоподъемники и другие каптажные устройства.

В районах недостаточного увлажнения по количеству кудуков, как правило приуроченных к понижениям рельефа, в частности к руслам временно действующих поверхностных водотоков, под которыми образуются маломощные линзы верховодки и пресных грунтовых вод, можно судить о мощности линзы пресных вод: чем больше кудуков, тем менее водообильна линза. Изображаются кудуки на аэрофотоснимках в виде групп округлых пятнышек в руслах проток, сезонных ручьев и рек. По характеру кяриза в областях предгорных шлейфов можно судить о водообильности и глубине залегания водоносного горизонта: чем более водообильный горизонт вскрывается кяризом, тем короче его галерея, и чем меньше водообильность водоносного горизонта, тем длиннее его галерея. В последнем случае часто наблюдается несколько лучей кяризов, сходящихся в один. О глубине галереи можно судить по величине отвалов около смотровых колодцев, так как извлеченная порода укладывается вокруг них. Чем глубже залегает водоносный горизонт, тем чаще расположены смотровые колодцы. Дешифрируются кяризы по цепочке двойных кругов-колец смотровых колодцев. Разветвленная часть кяризов обращена к горам и начинается в верхней части предгорных шлейфов. Спускаясь вниз по предгорному шлейфу, галерея переходит в хорошо видимый на аэрофотоснимках открытый водоток, к которому обычно приурочены участки орошаемых земель.

Каптированные родники дешифрируются с трудом и главным образом по крупномасштабным аэрофотоснимкам. Такие родники более уверенно дешифрируются при наличии искусственного русла стока. Дешифрированию способствует приуроченность объектов правильной геометрической в плане формы к местам возможных выходов подземных вод — ущельям, логам, речным долинам, зонам тектонических нарушений и контактам пород.

Кроме родников к непосредственным водопрооявлениям, поддающимся дешифрированию, относятся различного рода пластовые выходы воды, мочажины, грязевые вулканы, выпоты солей, болота.

Дешифрируются отмеченные водопрооявления как по водному зеркалу водотоков и водоемов, приуроченных к понижениям рельефа, так и по различным физико-географическим признакам. Повышенное увлажнение почвенных горизонтов отражается в потемнении тона фотозображения, которое обуславливается изображением развитых в месте выхода влаголюбивых растений или более темной окраской собственно увлажненных почв. В областях недостаточного увлажнения на фоне разреженной ксерофитной растительности особенно контрастно выделяются на аэрофотоснимках влаголюбивые растительные ассоциации, приуроченные к родникам. В лесной зоне на равнинах и в горах по изменению в растительном покрове родники дешифрируются хуже, чем в степной или пустынных зонах. Мелкие, малодобитные родники почти не дешифрируются или с трудом могут быть обнаружены на крупномасштабных аэрофотоснимках. Дешифрирование таких мелких родников в лесной зоне и в горных районах значительно облегчается при ис-

пользовании спектрзональных аэрофотоматериалов, на которых хорошо отображаются цветовые различия растительных сообществ.

В засушливых районах на мочажинах произрастает влаголюбивая растительность, которая дешифрируется на аэрофотоснимках по темному тону фотоизображения. Мочажины свидетельствуют о близком к поверхности залегании грунтовых вод или о наличии маломощных водоносных горизонтов, а также могут быть приурочены к контакту различных по водопроводящим свойствам горных пород. В областях избыточного увлажнения по аэрофотоснимкам хорошо дешифрируются болота по сеткам стекания и типам растительности. Сведения о гидрогеологических условиях, получаемые с помощью гидрогеологических индикаторов, недостаточно достоверны и должны быть проверены в ходе полевых работ.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

В процессе геологической съемки горные породы, распространенные в районе, получают подробную литолого-петрографическую и гидрогеологическую характеристику, которая может быть положена в основу инженерно-геологической оценки пород. Для более полной инженерно-геологической характеристики пород проводят дополнительные инженерно-геологические наблюдения. Эти наблюдения ведут непосредственно во время маршрутов, при описании естественных обнажений, откосов карьеров, вымоков, котлованов, а также при документации буровых скважин и различных разведочных выработок (шурфов, канав и др.).

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД

При визуальных наблюдениях в обнажениях должны быть получены следующие основные инженерно-геологические характеристики пород.

1. Относительная прочность и устойчивость пород при залегании их в массиве. Отмечаются породы, образующие выступающие грядки на склонах и структурные террасы, породы, к которым приурочены положительные и отрицательные формы микрорельефа, и др.

2. Анизотропность пород в массиве — их слоистость, сланцеватость, трещиноватость. При описании последней фиксируются количество трещин на единицу площади; среднее расстояние между ними; их средняя ширина, а также средние размеры блоков, выделяемые трещинами.

3. Отношение пород к воде, их поведение при увлажнении и высыхании, растворимость, размокаемость, размываемость, а также характер и распространение эрозионных явлений в различных породах.

4. Склонность пород к просадкам, наличие просадочных форм рельефа и приуроченность их к тем или иным породам.

5. Развеваемость пород, степень их выветрелости на различных элементах рельефа, наличие и мощность отдельных зон выветривания, формы отдельностей выветривания.

6. Устойчивость пород в откосах и на склонах; характерные формы склонов при различных высотах с учетом экспозиции.

7. В области распространения многолетнемерзлых пород — поведение пород при замерзании и оттаивании: пучения, обвалы, оплывины, образование термокарстовых форм.

При проходке буровых скважин, шурфов, расчисток должны отмечаться следующие данные.

1. Консистенция связных грунтов (твердая, полутвердая, тугопластичная, мягкопластичная, текучепластичная, текучая).

2. Степень устойчивости и поведение пород в стенках и забое выработки (образование и высота «пробок», «прихват» бурового инструмента, типы крепления при шурфовании).

3. Наличие, положение и характер распространения и размеры пустот в породе (интервалы глубин провала инструмента). Наличие, степень и материал заполнения пустот.

4. Крепость скальных и полускальных пород (по трудности проходки и по опробованию образца ударами молотка).

5. Трещиноватость скальных и полускальных пород (по выходу керна, а также по формам и размерам его элементов). Наличие и мощность отдельных зон выветривания (тонкого дробления, мелкообломочной, глыбовой и со скрытыми трещинами).

6. В областях распространения многолетнемерзлых пород — температура свежевскрытых горных пород, льдистость керна, криогенные структуры и текстуры, характер изменения свойств монолитов мерзлой породы при оттаивании.

При осмотре карьеров, котлованов и горных разработок кроме перечисленных выше данных должны отмечаться: а) высота, крутизна, экспозиция и степень долговременной и кратковременной устойчивости откосов открытых выработок; б) интенсивность горного давления, пучение, «стреляние», горные удары, выходы газов и другие подобные явления в закрытых горных выработках; в) скорость и характер выветривания вскрытых пород.

Собираются сведения о состоянии дорог и о сезонных характеристиках проходимости отдельных частей территории.

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Изучение физико-геологических явлений производится для выяснения их влияния на интенсивность и направление современного преобразования рельефа района и на инженерно-геологические условия района, в частности на устойчивость пород.

Устанавливаются основные закономерности физико-геологических явлений (карст, оползни, овраги, суффозионные явления, заболоченность и др.), приуроченность их к определенным стратиграфическим и литологическим горизонтам, зависимость от характера залегания пород, рельефа, гидрогеологических и мерзлотных условий. Обращается внимание на признаки взаимосвязи между отдельными процессами (например, влияние карста на оползни, связь оползневых и карстовых процессов с суффозионными и др.). Устанавливаются наиболее типичные для данного района физико-геологические явления. Большое значение имеют количественные характеристики как в отношении морфологии физико-геологических явлений (размеры оползней, карстовых воронок, характер заболоченности и пр.) и степени пораженности ими территории (коэффициент закарстованности, количество карстовых воронок на единицу площади и т. п.), так и с точки зрения скорости их развития. Наблюдаемые физико-геологические явления должны быть проанализированы в отношении той угрозы, которую они могут представлять для будущих сооружений.

В результате инженерно-геологических наблюдений должны быть выделены инженерно-геологические комплексы пород, под которыми понимается совокупность совместно залегающих горных пород, характеризующихся однородностью или закономерной изменчивостью инженерно-геологических свойств. Выделение указанных комплексов производится на основании изучения вещественного состава картируемых пород.

Инженерно-геологические комплексы пород объединяются в следующие инженерно-геологические группы (формации): скальных, полускальных, рыхлых крупнообломочных, рыхлых песчаных и рыхлых глинисто-пылеватых пород. Глубина, в пределах которой дается наиболее подробная инженерно-геологическая характеристика горных пород, определяется в 20—25 м.

В результате изучения геотехнических свойств горных пород и физико-геологических явлений производится инженерно-геологическое районирование территории. Подразделение территории может произво-

дятся различно в зависимости от сложности природных условий. В наиболее крупные подразделения — районы — объединяются части территории, характеризующиеся лишь общностью основных черт. Более дробные подразделения — подрайоны — могут отличаться большим количеством второстепенных общих признаков, и, наконец, самые мелкие подразделения — участки и подучастки — должны характеризоваться по возможности однородными условиями для строительства.

Наиболее часто выделение крупных подразделений территории — районов — производится по геоморфологическому признаку путем выделения основных геоморфологических элементов. Подрайоны выделяются по признаку сходства или различия геологического строения территории и распространения инженерно-геологических комплексов пород; наконец, участки и подучастки в пределах подрайонов — по признакам особенностей гидрогеологии и развитых физико-геологических явлений.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Анализ инженерно-геологических условий района может быть произведен на основе изучения материалов геоморфологического дешифрирования.

По легкоопознаваемым на аэрофотоснимках гривкам на склонах и структурным террасам определяются относительно более прочные и устойчивые породы в массиве; наличие тектонического уступа, ограничивающего площадь локального интенсивного развития эрозионного рельефа, позволяет предположительно выделить поднимающийся блок и оконтурить зону наименьшей устойчивости пород (рис. 7). По формам западного рельефа можно судить о склонности покровных отложений к просадкам, а в ряде случаев и о составе коренных пород в закрытых районах. В области распространения многолетнемерзлых пород по характерных формам и местоположению дешифрируются термокарстовый рельеф, бугры пучения, позволяющие оценивать поведение пород при замерзании и оттаивании.

Близкое залегание скальных пород под неконсолированными иногда может устанавливаться на аэрофотоснимках по формам специфического микрорельефа и соответствующим контурам почвенно-растительного покрова. В пределах пашен, а иногда лугов и разреженного лесного массива на значительных площадях юга европейской части СССР можно наблюдать на аэрофотоснимках «просвечивающий» сквозь рыхлые отложения погребенный рельеф поверхности кристаллического фундамента, карбонатных пород мелового возраста, а на отдельных участках севера — известняков ордовика и карбона [14, 136].

В районах с хорошей обнаженностью пород по аэрофотоснимкам может быть изучен с большой детальностью рисунок слоистости, сланцеватости, трещиноватости и т. п., а также замерены некоторые их параметры, существенные для оценки анизотропности пород в массиве, мощность отдельных прослоев, густота трещин и др. Сопоставление данных дешифрирования с полевыми описаниями трещиноватости пород в естественных обнажениях и при проходке буровых скважин, шурфов и расчисток позволит наиболее полно охарактеризовать анизотропность этих пород.

Материалы аэрофотосъемки позволяют констатировать наличие форм рельефа, связанных с определенными физико-геологическими процессами, и получать по аэрофотоснимкам количественные характеристики этих процессов (рис. 8, 9). Особую ценность представляет возможность наблюдать развитие физико-геологических процессов в связи с окружающими условиями, которые с той или иной степенью достовер-

ности могут быть охарактеризованы по материалам аэрофотосъемки, например, связь линейной эрозии с изменениями крутизны склонов, почвенно-грунтовых условий, характера сельскохозяйственной обработки, состояния задернованности склонов и другими факторами (Н. Н. Семёнова, 1967 г.).

Даже по материалам однократных съемок можно изучать динамику процессов благодаря одновременному большому обзору, позволяющему оценивать соотношения форм рельефа в пространстве. Это в ряде случаев дает возможность судить о последовательности развития процесса во времени и о его направленности, например, по формам мезо- и микрорельефа поймы — о развитии боковой эрозии; о направлении роста овражных отвершков (попятная эрозия) — по положению потяжин, в которые эти отвершки «вложены».



Рис. 7. Лёссовое плато, интенсивно разрушаемое оврагами.

1 — прямолинейные уступы, обусловленные новейшими тектоническими движениями, интенсивное развитие эрозионных процессов на поднимающемся блоке; 2 — западинный рельеф (индикатор близко залегающих кристаллических пород).

Основным методом изучения динамики процессов является сопоставление материалов повторного аэрофотографирования исследуемой территории через определенные интервалы времени, например процесса переработки берегов водохранилища, перемещения барханов, роста оврагов — при интервалах в несколько лет, схода паводковых вод, снежного покрова и других явлений — при интервалах, исчисляемых днями. С этой целью определяются общие твердые точки (не менее трех — деревья, строения, перекрестки дорог и др.) с четкими контурами на снимках разных залетов одного и того же участка, и относительно этих твердых точек устанавливается изменение

положения соответствующих элементов изучаемого объекта (вершины оврага, гребня бархана, бровки берега и др.) [135, 209], (А. И. Баранова, 1967 г.; З. И. Гурьева, 1967 г.).

С помощью аэрометодов можно вести инженерно-геологическое районирование, поскольку инженерно-геологическим районам соответствуют определенные природные ландшафты. На аэрофотоснимках они опознаются и выделяются по характерному фотонизображению основных геоморфологических элементов (типов рельефа), в той или иной степени подчеркиваемых другими приуроченными к ним компонентами ландшафта [14, 136].

При инженерно-геологическом дешифрировании особенно важны правильная оценка воздействия хозяйственной деятельности на природную среду и выделение природных образований, являющихся следствием именно такого воздействия. Так, например, различного рода искусственные дамбы и насыпи могут вызывать местное заболачивание или засоление прилегающих к ним участков. Еще большее влияние могут оказать крупные водохранилища или мелиоративные системы на режим грунтовых вод и развитие различных физико-геологических процессов: появление на значительных площадях и вдали от самих сооружений участков засоления, заболачивания, усиления водной эрозии и т. п.

Распашка, выпас скота и разрушение дернины приводят к развеиванию рыхлых песчаников и других отложений (рис. 10). Все эти явления и вызвавшие их причины наиболее достоверно устанавливаются и характеризуются с помощью материалов аэрофотосъемки.

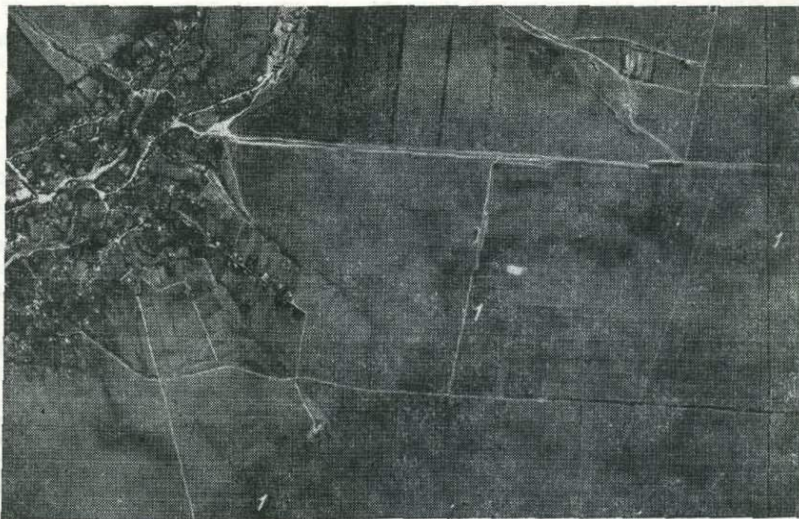


Рис. 8. Избыточное увлажнение 1, вызываемое выклиниванием подземных вод на пологом распаханном склоне, сложенном осадочными породами неоген-антропогена.



Рис. 9. Эрозионная возвышенная равнина в пределах юго-западного склона Украинского щита (с относительно глубоко погруженным фундаментом).

1 — многочисленные оползни на склонах речных долин с аномальным строением, контролируемым разрывными нарушениями; 2—4 — оползни: 2 — древние, 3 — современные, 4 — зарождающиеся.

Изучение местных особенностей хозяйственной деятельности может принести существенную пользу при геологическом дешифрировании [93, 136], Н. В. Кобец, 1962 г.; Комплексное дешифрирование аэроснимков, 1964 г.). Исключением являются площади, занимаемые крупными населенными пунктами и промышленными сооружениями, в пределах которых геологическое дешифрирование практически невозможно. Однако населенные пункты и промышленные сооружения, имеющие малую



Рис. 10. Область эндоконтакта массивов гранитов и габбро-анортозитов с расположенными на разных отметках поверхностями современного и погребенного рельефа. Украинский щит.

1 — котловина на габбро-анортозитах, выполненная 30-метровой толщей мезозойско-кайнозойских отложений преимущественно песчаного состава. Моренно-зандровая равнина с характерным мелкозападинным рельефом — индикатором древней озерно-речной сети 1, песчаными гривами и полосами 2, обусловленными разрывными нарушениями. Зоны дробления подтверждены бурением. На песчаных гривах местами расположены грунтовые дороги 3, частично уже распашанные 4.

площадь относительно размеров дешифрируемых объектов, не нарушают целостности восприятия последних даже при большом количестве. Расположение таких объектов в отдельных случаях подчеркивает особенности рельефа и может служить показателем почвенно-грунтовых условий. Так, например, в условиях относительно сурового климата населенные пункты сельского типа обычно приурочены к повышениям рельефа и лучше дренируемым грунтам.

Пахотные угодья, как правило, приурочены к наиболее благоприятным по составу отложениям, к лучшим условиям дренажа и инсоляции. Например, в условиях почти плоских равнин, где пески подстилаются суглинками, можно выделять выходы последних по приуроченности пашен (см. рис. 8).

В пределах пахотных угодий при правильном выборе времени аэрофотографирования детали фотоизображения могут использоваться как для дешифрирования рыхлых поверхностей отложений, так и подстилающих пород при малой мощности первых. В период от подсыхания свежей пашни до развития посевов сельскохозяйственных культур приблизительно не выше 10—20 см благодаря более дифференцированной увлажненности и лучшей обнаженности наиболее четко в рисунке и тоне фотоизображения выделяются различия в составе почвообразующих пород и почв, а также в микрорельефе поверхности. Этот рисунок проступает более четко на пашне, чем на смежных целинных участках степи, леса или луга (в соответствующих природных зонах). С развитием посевов рисунок постепенно сглаживается и полностью исчезает в стадии спелости сельскохозяйственных культур. После жатвы он также плохо различим из-за остатков сухих стеблей, следов уборки. На залежных участках и выгонах этот рисунок не виден из-за пышного развития сорняков, выбитой травы и т. п.

При дешифрировании вещественного состава отложений и особенно структурных линий следует учитывать проявления в рисунке пашен гра-

ниц землепользования прошлых лет, старых дорог, контуров старой застройки и т. п., вплоть до следов древних поселений.

Дорожная сеть всех классов и линии коммуникаций легко опознаются на аэрофотоснимках и не препятствуют, а в ряде случаев используются при геологическом дешифрировании (Н. В. Кобец, 1962 г.; Е. Я. Алексеев, 1964 г.). Лишь густая дорожная сеть нарушает целостность восприятия по фотосъемкам и фотопланам линеаментов, контролируемых геологическим строением. Трудности возникают при распознавании грунтовых дорог и троп от линеаментов под пологом леса, а особенно заброшенных дорог в лесу и на открытых участках в любых ландшафтных условиях. В то же время грунтовые дороги и тропы следует использовать в качестве одного из индикаторов при дешифрировании вещественного состава поверхностных отложений. Они обходят участки избыточного увлажнения, выходов плотных коренных пород. О вещественном составе пород можно судить по характеру колеи. Так, например, для суглинистых и глинистых отложений характерны постоянная ширина дороги и резкие очертания, тогда как песчаным отложениям свойственны расплывчатые контуры и непостоянная ширина. Многоколейность дороги и объезды характерны для участков поверхностного или близкого залегания водоупорных пород. В отдельных случаях грунтовые дороги могут проходить по незначительным линейным повышениям рельефа или участкам уплотненного грунта, обусловленным разрывными нарушениями, как это было установлено в ряде районов Украины и Белоруссии [14, 136].

Приведенные примеры показывают, что имеется возможность использования дорог в качестве индикаторов состава горных пород и сезонных условий проходимости местности. Однако основной задачей дешифрирования сети заброшенных и современных дорог является разделение прямолинейных линий, изобразившихся на аэрофотоснимках, на линии естественного или искусственного происхождения. Сопоставление отдешифрированных линий с другим фактическим материалом (топокартами разных лет издания, старыми планами землепользования и др.) позволяет даже в самых сложных случаях решать эту задачу.

Одним из важнейших элементов культурного ландшафта, с которым приходится считаться в различных природных зонах (от тайги до пустынь), являются мелиоративные сооружения различных типов и назначений, в больших масштабах строящиеся в нашей стране. Необходимо учитывать, что в прошлом существовали также различные мелиоративные сооружения, которые имели другое расположение и по разным причинам прекратили свое существование. Не будучи выраженными в современном рельефе, они тем не менее могли оставить в ландшафте следы своего существования, природу которых вскрыть бывает довольно трудно. В отдельных же случаях на аэрофотоснимках четко проявляется и легко опознается такой рисунок, как, например, линии закрытого дренажа (Г. Я. Мейер, 1958 г.).

При дешифрировании отложений, залегающих на поверхности, следует обращать внимание на выбросы породы из различного рода канав, котлованов и других объектов, не имеющих геологической документации. Так, например, если просматривать их на значительном протяжении в пределах заболоченных песчаных равнин и одновременно сопоставлять с окружающим ландшафтом, то участки наибольшего потемнения будут соответствовать торфяникам или иловато-торфянистым отложениям, а самые светлые участки — пескам (см. рис. 10). Особенно ценно точно выносить на аэрофотоснимки данные инженерно-геологических изысканий любых линейных сооружений, так как по фотонизображению окружающей местности их можно распространить на прилегающие территории на основе ландшафтных принципов экстраполяции.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

ОСАДОЧНЫЕ ПОРОДЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД И ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Осадочные породы наиболее четко дифференцируются по удельному электрическому сопротивлению, плотности и скорости распространения упругих волн. Большинство породообразующих минералов в обезвоженном состоянии характеризуется весьма высоким электрическим сопротивлением, около $1 \cdot 10^6$ ом·м и более. Электропроводность пород, как правило, обуславливается влагой, насыщающей их поровое пространство. Поэтому сопротивление пород зависит в основном от их пористости, влагонасыщенности и от сопротивления насыщающей жидкости.

Отмеченные зависимости обуславливают весьма широкие пределы изменения электрического сопротивления осадочных пород, не связанные с их литологическим составом. Постоянные значения этого параметра, свойственные определенным разновидностям пород, отмечаются лишь на сравнительно ограниченных площадях при нахождении их в одной гидрохимической зоне.

Наличие в осадочных породах электропроводящих минералов снижает их электрическое сопротивление (пиритизированные, графитизированные породы и др.). Особенно резкое снижение сопротивления наблюдается, если электропроводящие минералы имеют между собой гальваническую связь.

Скорость распространения упругих волн зависит от литологического состава, диагенеза и трещиноватости пород [153]. Зависимость скорости от диагенеза наиболее четко проявляется в песчано-глинистых отложениях. Для этих пород с увеличением степени диагенеза скорость продольных волн существенно возрастает. В трещиноватых породах значение скорости упругих волн резко снижается.

Плотность осадочных пород изменяется в широких пределах в зависимости от их литологического состава, степени диагенеза и структурно-текстурных особенностей. При одинаковой степени диагенеза наиболее низкая плотность соответствует глинистым отложениям ($2,30-2,60$ г/см³), промежуточная — песчано-глинистым и наиболее высокая — песчаным ($2,30-2,70$ г/см³). Карбонатные породы, особенно известняки и доломиты, имеют в большинстве случаев плотность более высокую, чем песчано-глинистые ($2,60-2,70$ г/см³). Среди них несколько более высокой плотностью характеризуются доломиты, более низкую плотность имеют мергели ($2,20-2,40$ г/см³). Из гидрохимических осадков наиболее низкую плотность имеет каменная соль ($2,13$ г/см³), несколько выше — гипс ($2,40-2,50$ г/см³) и наиболее высокую — ангидрит ($2,50-2,60$ г/см³). Более полные сведения по физическим свойствам осадочных пород приведены в работе Н. Б. Дортман [153] и др.

При изучении рыхлых покровных образований геофизические методы могут быть использованы для решения следующих основных задач: 1) определения общей мощности покрова; 2) литолого-стратиграфического расчленения разреза; 3) изучения погребенного рельефа фундамента.

При изучении осадочных образований, относимых к складчатому основанию, с помощью геофизических методов могут быть решены следующие основные задачи:

- 1) литолого-стратиграфическое расчленение разреза и определение контуров распространения выделенных комплексов пород;
- 2) выделение и прослеживание по простиранию маркирующих горизонтов;
- 3) определение простирания и угла падения пластов;
- 4) изучение складчатой тектоники;
- 5) изучение разрывных нарушений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ МОЩНОСТИ ПОКРОВНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ РАЗРЕЗА

Физической основой определения общей мощности покровных образований является наличие достаточно четкой границы между этими образованиями и складчатым фундаментом, на которой обычно происходит резкий перепад удельного электрического сопротивления, плотности и скорости распространения упругих колебаний, что благоприятствует использованию для решения рассматриваемой задачи методов электроразведки и сейсморазведки. Применение гравиразведки для этих же целей затруднено ввиду относительно малого диапазона изменения мощности покровных образований и сложного влияния плотностной неоднородности пород складчатого основания. Поэтому данные гравиразведки могут быть использованы лишь в некоторых ограниченных случаях для приближенной оценки изменения мощности покровных отложений или для выявления крупных впадин и выступов в фундаменте.

При изучении покровных образований наиболее распространены методы электроразведки. Для получения предварительных данных об изменении мощности покрова применяется электропрофилирование. Для более точного определения мощности покровных образований применяется метод электроразведки. При благоприятных условиях — четкой электрической границе между покровными образованиями и складчатым основанием, простоте геоэлектрического разреза и т. д. — мощность покрова может быть определена с погрешностью до 5—10%. Но для достижения такой погрешности необходимо иметь данные о характере геоэлектрического разреза, которые можно получить по параметрическим ВЭЗ, выполненным вблизи горных выработок и скважин, вскрывающих складчатое основание.

Величина мощности покрова, определенная с помощью ВЭЗ, будет соответствовать истинной мощности лишь в тех случаях, когда электрические границы совпадают с геологическими. В противном случае с помощью электроразведки определяется мощность некоторого электрического горизонта. В каждом конкретном случае соответствие тех или иных электрических горизонтов геологическим образованиям устанавливается путем сопоставления результатов электроразведки с данными горных выработок и бурения. В частности, электрические границы раздела не совпадают с геологическими при наличии на породах складчатого основания коры выветривания. В этом случае методом ВЭЗ отбивается не поверхность коры выветривания, а какая-то поверхность, залегающая на большей глубине и отвечающая слабо измененным породам.

Пример изучения покровных образований при сравнительно простом геоэлектрическом разрезе показан на рис. 11. На участке была проведена съемка методом электропрофилирования, позволившая построить карту равных значений кажущихся сопротивлений, которая в общих

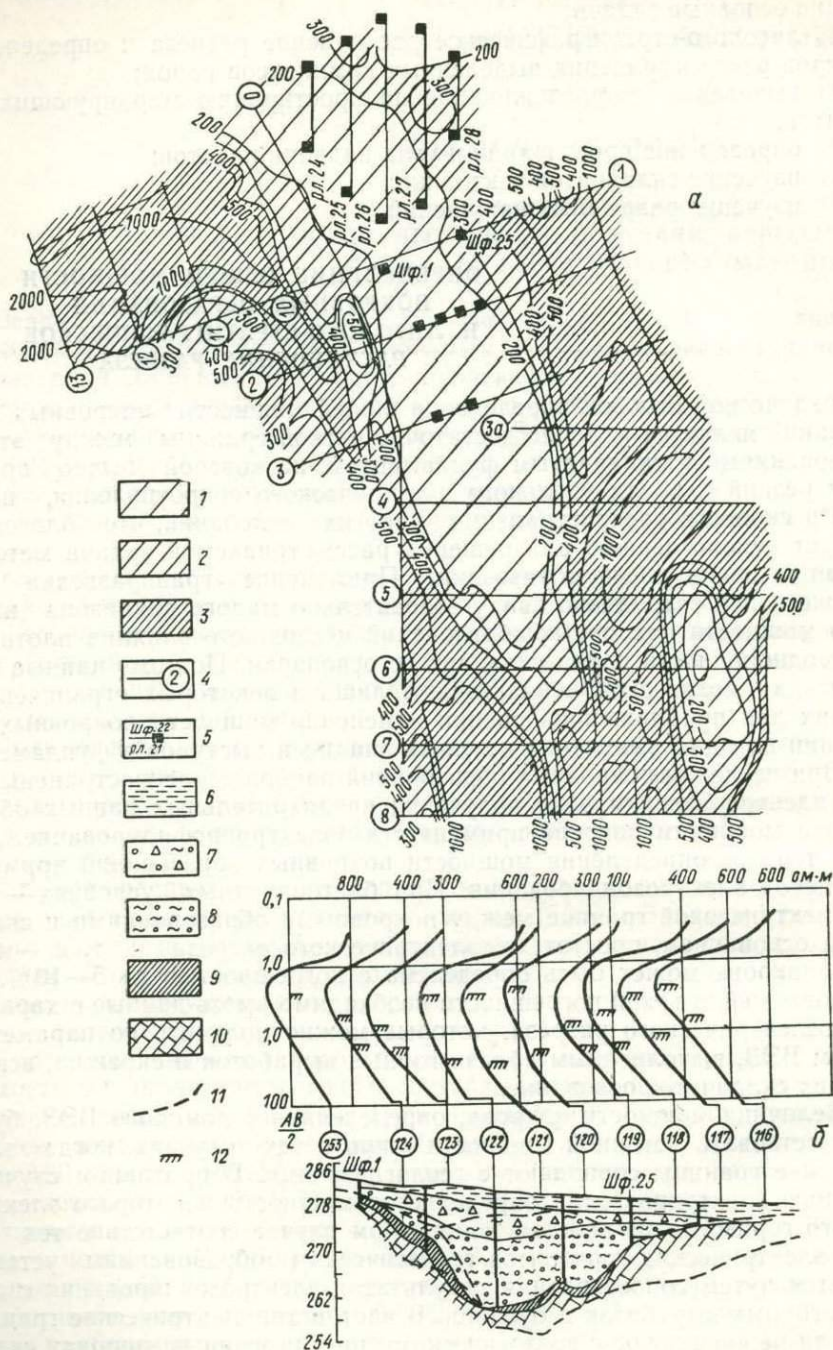


Рис. 11. План равных значений ρ_k (а) и поперечный профиль (б) через долину по данным электроразведки и шурфовочных работ (по В. П. Седовой, А. П. Божинскому, 1965 г.).

1-3 — зоны с сопротивлениями, ом·м: 1 — <200, 2 — 200—400, 3 — >400; 4 — геофизические профили; 5 — линии шурфов; 6 — суглинки; 7 — глины с обломочным материалом; 8 — галечники; 9 — плотные глины со щебнем и галькой коренных пород; 10 — коренные породы; 11 — границы слоев; 12 — границы раздела между электрическими горизонтами.

чертах отражает строение погребенного рельефа. Зонам низких значений кажущегося сопротивления соответствует увеличение мощности покровных отложений. С помощью электротондирований удалось уточнить положение погребенного ложа и определить мощность покрова (А. П. Божинский и др., 1965 г.).

Мощность покровных образований может быть определена и с помощью сейсморазведки. В настоящее время этот метод применяется редко ввиду высокой стоимости сейсмических работ и громоздкости применяемой аппаратуры. Более широкому использованию этого метода способствует внедрение портативной и высокопроизводительной аппаратуры, предназначенной для изучения покровных отложений мощностью до 50 м (В. С. Музылев, 1965 г.).

Если разрез покровных отложений состоит из пластов, отличающихся друг от друга по электрическому сопротивлению и имеющих сравнительно большую мощность, то для их выделения также могут быть использованы данные электротондирования (рис. 12).

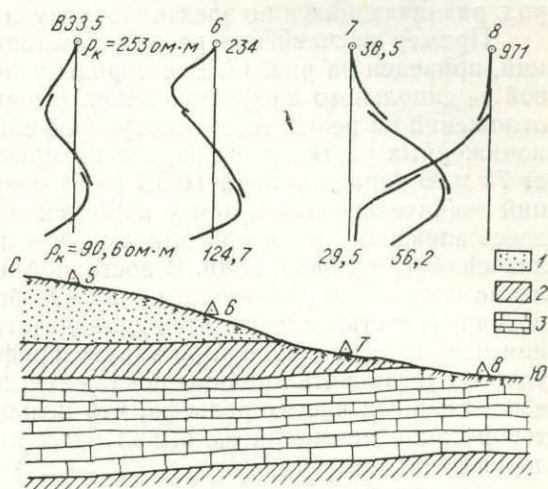


Рис. 12. Расчленение осадочной толщи по данным ВЭЗ (по Ю. В. Якубовскому, 1956 г.).
1 — пески ($\rho_1 = 260$ ом · м); 2 — глины ($\rho_2 = 29 + 35$ ом · м);
3 — известняки ($\rho_3 = 1000$ ом · м).

ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД СКЛАДЧАТОГО ОСНОВАНИЯ

Необходимым условием применения геофизических методов для литолого-стратиграфического расчленения разреза является четкая дифференциация отдельных разновидностей пород по физическим свойствам. Частично эта задача может быть также решена, если комплексы пород включают в себя маркирующие горизонты.

Выбор тех или иных геофизических методов зависит от конкретных условий проведения работ. Наиболее часто решение задачи достигается методом электропрофилеирования ввиду четкой дифференциации осадочных пород по электрическому сопротивлению. С помощью электропрофилеирования осадочные породы могут быть расчленены на основные литологические разновидности: сланцы, песчаники, известняки, доломиты и т. д. Иногда удается также произвести более дробное расчленение этих разновидностей пород и выделить среди них породы, отличающиеся по структурным или текстурным особенностям. Например, иногда удается выделить плотные известняки среди более пористых их разновидностей и т. д.

Наличие низкоомных покровных отложений, особенно если они изменчивы по мощности и неоднородны по электрическому сопротивлению, значительно искажает результаты электропрофилеирования и усложняет их геологическое истолкование. В этих условиях необходимо применять электропрофилеирование с двумя разностями питающих электродов, а также на отдельных участках ставить электротондирования для изучения характера изменения мощности и сопротивления покровных от-

ложений. Совместная интерпретация результатов двух методов позволяет в какой-то мере учесть влияние неоднородности покровных отложений и более однозначно выделить в складчатом основании комплексы пород, различающихся по электрическому сопротивлению.

Пример расчленения разреза, состоящего из терригенных отложений, приведен на рис. 13. Все породы участка четко расчленены по кривой ρ_k дипольного профилирования. Влияние неоднородности покровных отложений на результаты электропрофилирования сильно проявляется в пониженных частях рельефа, где их мощность по данным ВЭЗ достигает 75 м. В западной пади (ВЭЗ 1—5) сопротивление покровных отложений значительно ниже, чем у пород складчатого основания, сложенного здесь алевролитами и аргиллитами, что привело к резкому уменьшению значений ρ_k в районе пади. В восточной пади (ВЭЗ 6—9), где сопротивление покровных отложений оказалось более высоким, чем у конгломератов и углистых алевролитов складчатого основания, отмечается обратная картина хода кривой ρ_k электропрофилирования. С помощью ВЭЗ удалось установить причины искажения данных электропрофилирования в пониженных частях рельефа, что позволило правильно подойти к интерпретации аномалий ρ_k , выявленных в сложных геоэлектрических условиях.

Прослеживание по простиранию геологических образований, выделенных по геофизическим данным, производится путем корреляции геофизических полей по профилям. Уверенную корреляцию можно осуществить в тех случаях, когда выделенные образования без существенных изменений прослеживаются на значительные расстояния. В этом случае для корреляции используются такие характеристики аномалий, как их интенсивность, форма, взаимное расположение и т. д. Корреляция аномалий упрощается, если в разрезе имеются маркирующие горизонты, которым соответствуют специфические аномалии.

Пример прослеживания геологических образований по графикам ρ_k дипольного электропрофилирования представлен на рис. 14. Горные породы здесь четко дифференцируются по электрическому сопротивлению и уверенно прослеживаются по простиранию, особенно маркирующие горизонты (углисто-глинистые сланцы), по низким значениям ρ_k . В более сложных условиях расчленение и корреляцию необходимо производить не по одному методу, а по комплексу методов. Например, если в разрезе имеются горизонты графитизированных, углефицированных или пиритизированных пород, то для решения поставленных задач существенную помощь может оказать метод естественного электрического поля, с помощью которого эти горизонты могут быть с достаточной достоверностью прослежены по простиранию. В некоторых случаях можно использовать также магниторазведку для прослеживания отдельных комплексов пород, отличающихся более высокой намагниченностью (толщи осадочных пород, обогащенных магнетитом, горизонты эффузивов и т. д.).

Гораздо труднее осуществлять корреляцию геофизических полей в сложных геологических и геоморфологических условиях. В этих случаях целесообразно прибегать к зигзагообразному электропрофилированию для непосредственного прослеживания выделенных комплексов пород, как это показано на рис. 15.

Для определения местоположения контактов и мощности геологических образований производится количественная интерпретация графиков ρ_k . Для этого графики должны удовлетворять ряду требований. Профили, по которым производится интерпретация, должны быть ориентированы вкрест простирания изучаемых пластов. На графике должны фиксироваться все характерные точки (максимумы, минимумы и точки перегиба). Для выполнения этих условий необходимо проходить специальные интерпретационные профили с более густой сетью наблюдений.

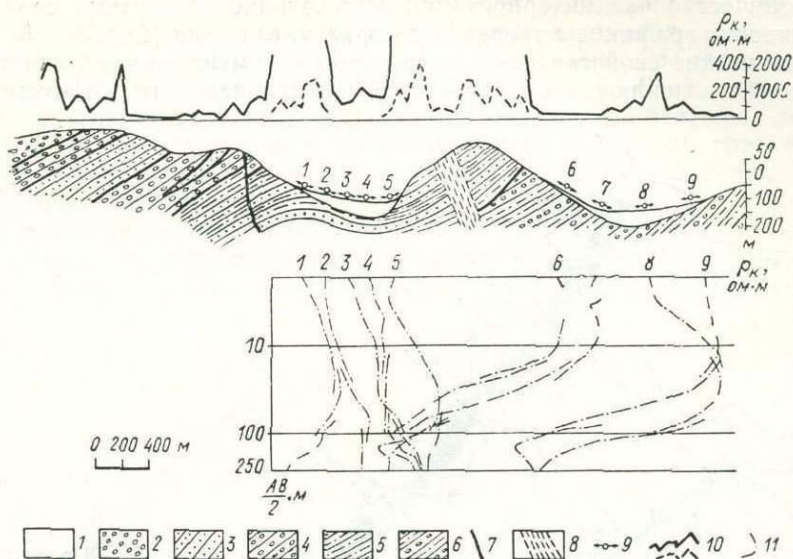


Рис. 13. Расчленение осадочной толщи с помощью электроразведки (по В. М. Огневу, 1962 г.).

1 — современные отложения; 2 — верхнегазимульская свита (существенно конгломераты); 3—5 — Онон-борзинская свита: 3 — песчаники, 4 — конгломераты, 5 — алевролиты и аргиллиты; 6 — сивачинская свита (конгломераты, углистые алевролиты); 7 — разрывные нарушения; 8 — зона интенсивной трещиноватости; 9 — точки ВЭЗ; 10 — графики электропрофилеирования; 11 — кривые ВЭЗ.

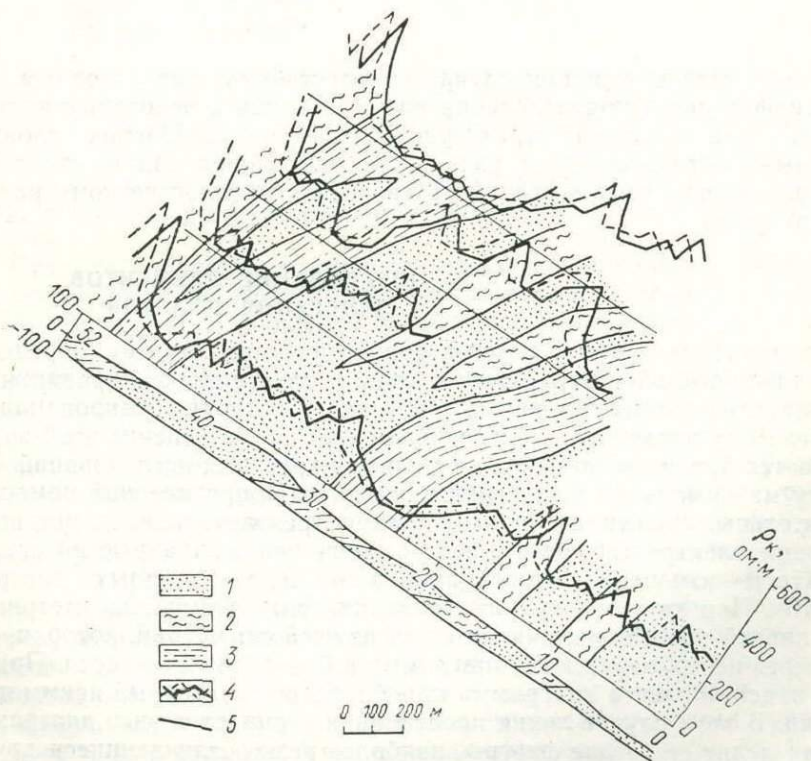


Рис. 14. Прослеживание осадочных образований по графикам ρ_k дипольного электропрофилеирования (по В. Д. Огородникову).

1 — полимиктовые песчаники; 2 — хлорит-серцитовые сланцы; 3 — углисто-глинистые, глинисто-серцитовые сланцы; 4 — графики ρ_k ; 5 — профили геофизических наблюдений.

ний. Количественная интерпретация осуществляется путем сравнения практических графиков с теоретически рассчитанными [28].

Физические свойства осадочных пород не имеют прямой связи с их возрастом, за исключением остаточной намагниченности. Поэтому гео-

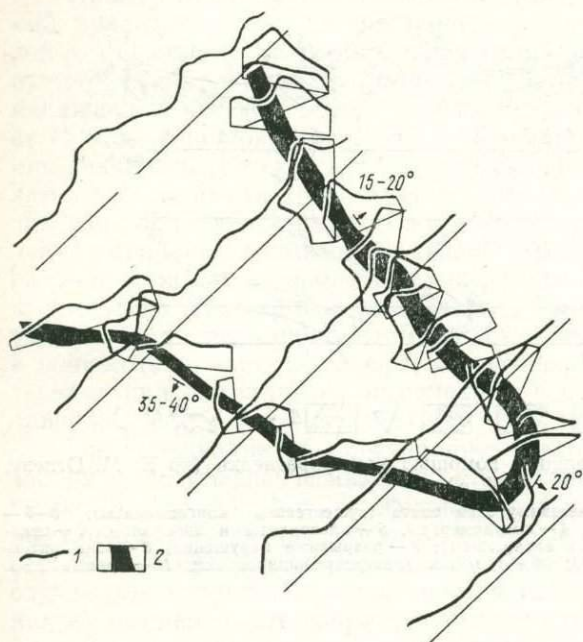


Рис. 15. Прослеживание пласта осадочных пород в замке антиклинальной складки способом зигзагообразного электропрофилирования (по В. В. Шувалкину).

1 — графики электропрофилирования; 2 — пласт осадочных пород.

физические методы в общем случае не могут быть использованы для стратиграфического подразделения разреза. Лишь в некоторых частных случаях, когда отдельные стратиграфические подразделения сложены различными литологическими разновидностями пород, задача стратиграфического расчленения может быть сведена к литологическому расчленению разреза.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ ПЛАСТОВ

Направление падения пластов ориентировочно можно определить при количественной интерпретации кривых электропрофилирования или по характерному смещению аномалий при электропрофилировании на двух разносах питающих электродов. Более точное решение этой задачи достигается путем постановки специальных круговых исследований [27]. В точку максимальных изменений кажущихся сопротивлений помещают измерительные электроды дипольной или трехэлектродной установки. Питающие электроды перемещают по кругу через заданные интервалы. Результаты измерения ρ_k изображают в виде полярных диаграмм (рис. 16). При крутом падении пласта диаграмма имеет симметричный вид и линией простирания является та из осей симметрии, которая, проходя через центр, пересекает диаграмму в более узкой ее части. При пологом падении пласта диаграмма приобретает характерный асимметричный вид. В этом случае линия простирания совпадет с осью диаграммы, которая делит ее на две фигуры, наиболее резко отличающиеся друг от друга по площади. Падение пласта определяется перпендикуляром к линии простирания и направлено в сторону более высоких значений ρ_k . Величину угла падения приближенно можно определить по отношению площадей диаграммы, разделенных осью простирания.

Благоприятными условиями для успешного применения круговых исследований являются: значительное отличие изучаемого пласта от окружающих пород по электрическому сопротивлению; сравнительно небольшая мощность покровных образований (до 5—6 м), предельная мощность этих образований 20 м; сглаженные формы рельефа дневной поверхности; небольшая мощность изучаемого пласта по сравнению с разностями измерительной установки; однородность вмещающих пород вблизи точки исследования.

При изучении пликативной тектоники роль геофизических методов обычно сводится к прослеживанию маркирующих горизонтов, установлению замковой части складки и определению направления и угла па-

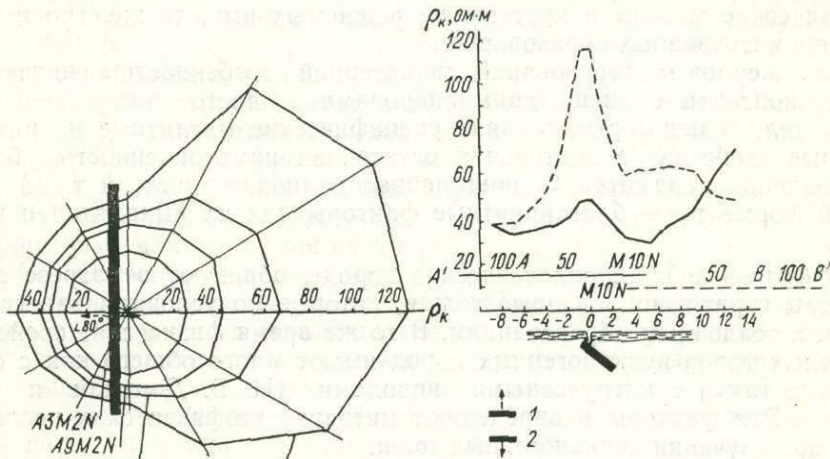


Рис. 16. Определение направления падения пласта по полярным диаграммам (по И. М. Блоху, Е. А. Шемякину, 1959 г.).

Элементы залегания: 1 — по горной выработке, 2 — по полярным диаграммам.

дения пластов. При простом залегании структур, располагая этими данными, можно однозначно выделить синклинальные или антиклинальные складки.

При благоприятном соотношении физических свойств пликативные структуры могут непосредственно отображаться в геофизических полях. В зависимости от соотношения физических свойств пластов, участвующих в строении структуры, характер аномалии может быть различным. Например, если в ядре антиклинали выходят высокоомные породы, то в этом случае структуре будет соответствовать зона повышенных значений ρ_k метода электропрофилеирования. При обратном соотношении сопротивлений антиклинальная структура будет отмечена минимумом ρ_k . Обратная картина будет наблюдаться над синклинальной структурой.

При изучении осадочных пород могут быть использованы методы радиометрии и в первую очередь гамма-спектрометрический метод, позволяющий определить кларковые содержания урана (радия), тория и калия, которые могут быть использованы для уточнения вещественного состава, возрастных взаимоотношений и условий формирования пород. В основе решения этих задач лежит связь концентрации радиоактивных элементов с литологическим составом продуктов размыва и выветривания, физико-химическими и ландшафтно-климатическими условиями переноса и аккумуляции. Так, подавляющее большинство карбонатных пород, как правило, характеризуется низкими содержаниями урана, тория и калия, и лишь в некоторых случаях происходит обогащение известняков ураном, обычно совместно с увеличением концентрации фосфора, ванадия, редких элементов и органических соединений. Для

некоторых районов весьма характерна приуроченность повышенных содержаний тория и калия к аркозовым красноцветным отложениям среднего и верхнего девона и т. д.

ВУЛКАНОГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ

Вулканогенные образования по условиям формирования делятся на четыре группы: эффузивные, пирокластические, жерловые и субвулканические.

Субвулканические образования по характеру взаимоотношений с вмещающими породами и форме тел близки к интрузивным, а закономерности изменения физических свойств для них идентичны. Поэтому геофизические методы и круг задач, решаемых ими, те же, что и при изучении интрузивных образований.

Для жерловых образований характерной особенностью являются рвущие контакты с вмещающими породами и часто цилиндрические формы тел. В некоторых случаях специфические магнитные и радиоактивные свойства (значительная остаточная намагниченность, большие значения параметра Q , повышенная радиоактивность и т. п.) при данной форме тел — благоприятные факторы для их выявления и изучения.

Эффузивные и пирокластические породы образуют в разрезе земной коры стратифицированные толщи, которые по условиям залегания близки к осадочным образованиям. В то же время физические свойства различных типов вулканогенных пород имеют много общего как с осадочными, так и с интрузивными породами (Н. Б. Дортман и др., 1964 г.). Эти факторы и определяют методику геофизических исследований при изучении вулканогенных толщ.

Наиболее общие задачи, решаемые геофизическими методами при геологической съемке районов распространения вулканогенных образований, следующие: выделение площадей распространения вулканогенных пород, установление вулcano-тектонических структур, расчленение вулканогенной толщи по условиям формирования и составу; более частные задачи: возрастная корреляция эффузивных пород, установление направления перемещения лавовых потоков, выявление пород жерловой фации и т. д.

В зависимости от геологического строения, обнаженности и типа района роль и значение различных геофизических методов не одинаковы в решении той или иной задачи. Поэтому необходимо стремиться к применению широкого комплекса исследований на площади и использованию материалов как предшествующих, так и сопровождающих геологическую съемку геофизических работ.

Для выявления площади распространения вулканогенных образований и вулканических структур, слагаемых ими, необходимо начинать с анализа карт физических полей, имеющих к началу производства геологической съемки. Так, на гравиметрических картах пониженными полями силы тяжести выделяются крупные тектонические структуры (кальдеры, брахисинклинали, депрессии), сложенные эффузивными породами преимущественно кислого состава и залегающие среди более плотных метаморфизированных осадочных толщ. Контур этих структур по гравиметрическим картам определяется ориентировочно по зоне наибольших градиентов силы тяжести. В некоторых случаях с помощью детализационных гравиметрических исследований можно определить углы падения контакта, мощность магматических образований и другие параметры [271, вып. 7].

При определении площади распространения вулканогенных образований с помощью геофизических методов наибольшее значение приоб-

ретают данные магниторазведки. Вулканогенные образования создают различные магнитные поля.

В зависимости от района, его геологического строения, преимущественного состава и намагниченности вулканогенных образований, возраста и других факторов напряженность, амплитуда и частота изрезанности поля самые разнообразные, хотя намечаются некоторые закономерности. Например, над кислыми разностями эффузивных пород напряженность и изрезанность поля по амплитуде меньше, чем над основными, над лавовыми покровами она больше, чем над туфами, и, наоборот, меньше над палеотипными образованиями по сравнению с кайнотипными.

Материалы аэромагнитной съемки не позволяют с требуемой точностью установить контуры распространения тех или иных вулканогенных образований из-за ряда погрешностей, присущих методу (погрешность привязки, инерционность прибора и т. п.).

Поскольку вулканогенные образования в большинстве случаев отмечаются аэромагнитной съемкой, все наземные геофизические работы проводятся в тесной увязке с ее результатами. Установленные по материалам аэромагнитной съемки площади распространения вулканогенных образований пересекаются наземными магниторазведочными маршрутами для уточнения их границ.

Одновременно производится отбор образцов вулканогенных пород для выяснения петрофизических характеристик. В процессе этого этапа работ, а также на основании геологических, петрофизических и других данных выясняются возможности других геофизических методов для выделения тех разностей вулканогенных образований, которые недостаточно четко или совсем не отмечаются в аномальном магнитном поле. Практика постановки геофизических работ для расчленения вулканогенных толщ по составу и условиям формирования показывает, что кроме магниторазведки наиболее часто применяются методы электроразведки. Имеется также опыт успешного применения методов радиометрии и изучения петрофизических характеристик пород. Эти последние исследования применимы лишь при хорошей обнаженности района.

Методика проведения геофизических работ может быть самая разнообразная, начиная от отдельных коротких маршрутов вкрест простирающихся геологических границ и кончая площадными исследованиями всего планшета. Основным признаком магнитного поля, используемым для расчленения вулканогенных толщ по составу, является его интенсивность, а по условиям формирования — изрезанность поля.

На рис. 17 приведены карты магнитного поля и геологического строения района развития вулканогенных образований, иллюстрирующие зависимость интенсивности поля от состава пород. Не анализируя все магнитное поле, отметим лишь ярко выраженные аномалии. В восточной части планшета четко выделяются дугообразными аномалиями интенсивностью свыше 1000γ базальтовые порфириды и их туфы, слагающие крылья синклинория. Центральная часть этой структуры, сложенная липаритовыми порфирами и их туфами, отмечается полем интенсивностью $100-500\gamma$. Меридиональной линейной аномалией интенсивностью до 1000γ фиксируется пластовое тело андезито-базальтового состава и т. д.

Зависимость характера магнитного поля от структурно-текстурных особенностей вулканогенных пород представлена на рис. 18. Используя различия в интенсивности и характере магнитного поля, авторы не только смогли выделить отдельные петрографические разности вулканогенных пород, но и установили границы их распространения. Следует обратить внимание на то, что пирокластические образования создают магнитные поля, практически спокойные.

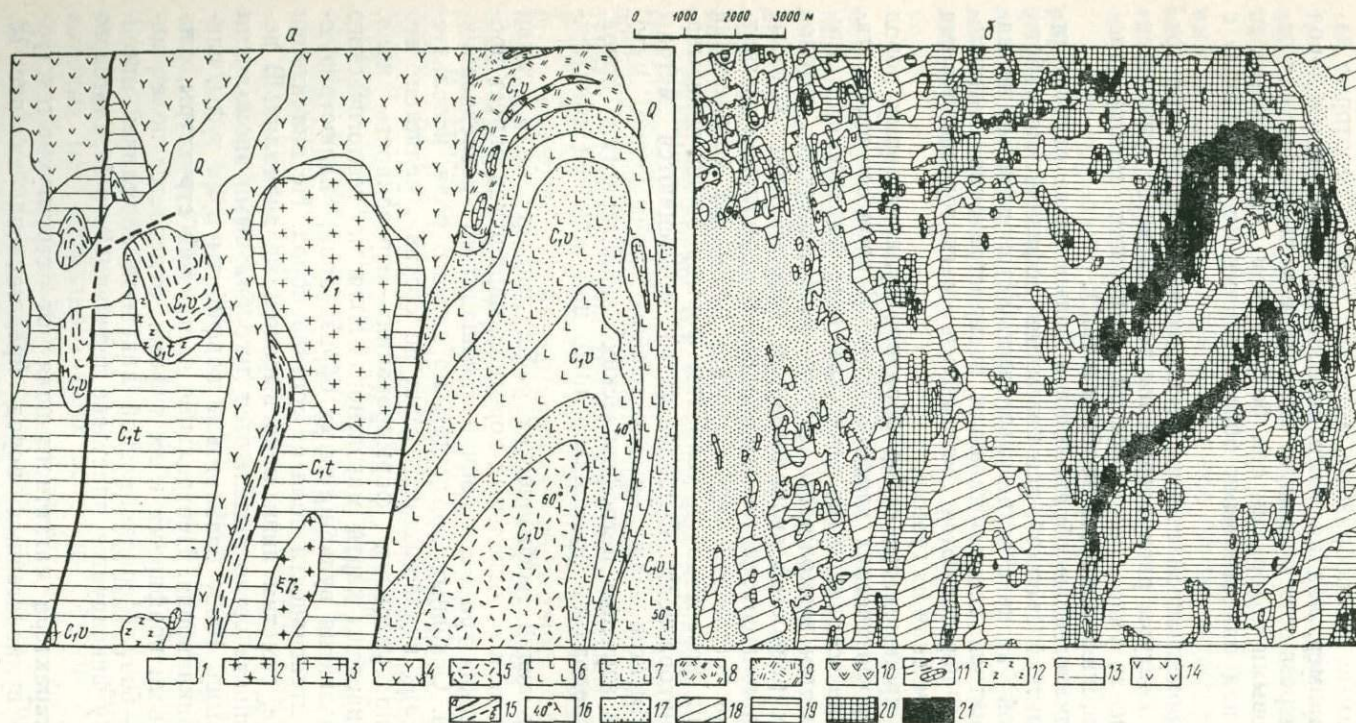


Рис. 17. Пример расчленения вулканогенных образований по интенсивности аномального магнитного поля Z_a (Южный Урал).

a — фрагмент геологической карты (по Г. И. Чайко, Н. С. Лисову); *b* — фрагмент карты изодинам Z_a (по В. Ш. Загрянну).

1 — четвертичные отложения; 2 — щелочные граносиениты; 3 — граниты и граносиениты; 4 — субвулканическая залежь пород андезито-базальтового состава; 5 — липаритовые порфиры и их туфы; 6 — базальтовые порфириты и их туфы; 7 — туфы основного состава, линзы лав, туфопесчаники, туфоангломераты; 8 — трахилипаритовые порфиры; 9 — лавобрекчии, туфы трахилипаритовых порфиров; 10 — трахиандезитовые порфириты; 11 — кремнистые известняки, кварциты по известнякам; 12 — залежь расланцованных диабазов; 13 — туффиты, туфопесчаники, туфы основного состава, диабазы, кремнистые породы, известняки; 14 — андезитовые порфириты и их туфы; 15 — разрывные нарушения: *a* — установленные, *b* — предполагаемые; 16 — элементы залегания; 17–21 — интенсивность поля: 17 — $<100\gamma$; 18 — от -100 до $+100\gamma$; 19 — от $+100$ до $+500\gamma$; 20 — от $+500$ до $+1000\gamma$; 21 — $>+1000\gamma$.

Признаками, используемыми для разделения и выделения вулканогенной толщи по данным электроразведочных методов, являются различия в кажущемся сопротивлении. Сопротивление пород зависит от их пористости, трещиноватости и обводненности. В связи с этим в большинстве случаев эффузивы обладают значительно большими сопротивлениями, чем пирокластические и некоторые осадочные породы. При крутых падениях вулканогенной толщи для ее расчленения

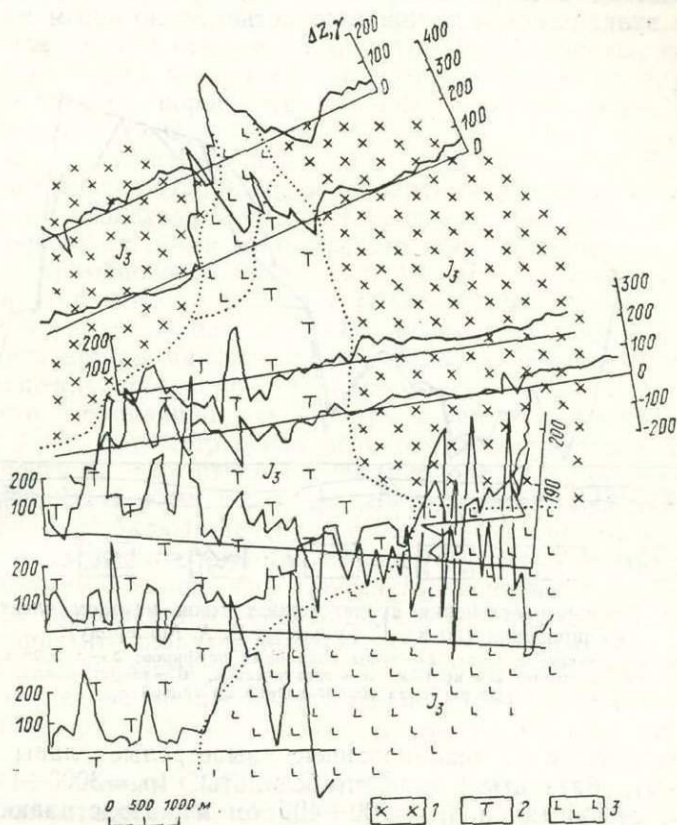


Рис. 18. Пример расчленения вулканогенных образований по характеру и интенсивности магнитного поля (по В. М. Огневу, В. Д. Огородникову, Е. А. Шемякину, 1962 г.).
1 — туфы, туфобрекчии, туфолавы; 2, 3 — порфиры: 2 — андезитовые, 3 — базальтовые, андезито-базальтовые.

наиболее приемлемы методы электропрофилеирования, модификации которых выбираются на основе физико-геологических условий района. Указать конкретные значения ρ_k для разновидностей вулканогенных образований не представляется возможным, так как данный параметр зависит не только от их истинной проводимости, но также от мощности и сопротивления перекрывающих отложений и других факторов.

Примером успешного применения электроразведки для расчленения вулканогенной толщи, перекрытой четвертичными отложениями, являются геологосъемочные работы, проведенные в районе бух. Рудной (Ю. Г. Гурулев, В. А. Макаров). Как указывают исполнители этих работ, с помощью дипольного профилирования удастся отделить андезиты, фельзит-порфиры, липариты по высоким значениям ρ_k (800—2000 ом·м) от туфов кварцевых порфиров, туфов андезитов, ρ_k которых 100—300 ом·м. По данным наземных магнитных съемок в

данном районе уверенно выделяются андезиты и отчасти их туфы (рис. 19).

Расчленение кайнотипных эффузивно-пирокластических образований в вертикальном разрезе возможно с помощью методов электрозондирования. Опыт работы при решении данной задачи пока очень незначителен. Обнадеживающие результаты получены в ряде районов Армении на площадях развития вулканогенных толщ неоген-четвертичного возраста. Например, в северной части Гегамского нагорья с помощью метода электрозондирования перекрытая современными отложениями вулканогенная толща мощностью около 400 м по сопротив-

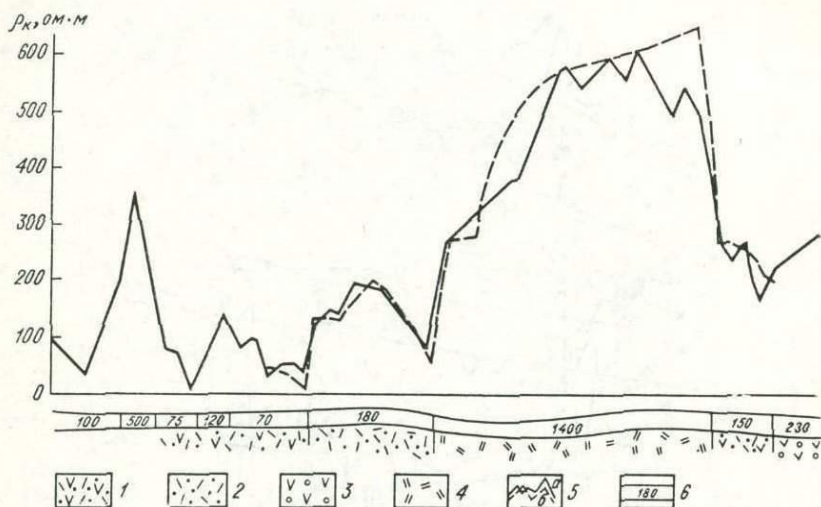


Рис. 19. Пример расчленения вулканогенных толщ методом электропрофилирования (по Ю. Г. Гурулеву, В. А. Макарову).

1 — туфы смешанного состава; 2 — туфы кварцевых порфиров; 3 — лавобрекчии андезитов; 4 — липариты; 5 — кривые: а — практическая, б — теоретическая; б — вычисленные значения сопротивлений по кривой ρ_k

лению расчленяется на ошлакованные выветрелые лавы ($\rho_k = 300 \div 1000$ ом·м), базальты, андезито-базальты ($\rho_k = 3000 \div 6500$ ом·м), порфириты, туфобрекчии ($\rho_k = 200 \div 400$ ом·м). Подстилающие песчано-глинистые образования, характеризующиеся сопротивлениями, не превышающими 20 ом·м, позволили определить рельеф подлавовых образований. Пробуренные скважины полностью подтвердили построенные по данным ВЭЗ геолого-геофизические карты и разрезы [285].

Применение наземных методов радиометрии, в том числе гамма-спектрометрии, для расчленения вулканогенных образований целесообразно лишь в случае, когда диагностика по макроскопическим признакам близких по составу пород затруднена. Установлено, что незначительное изменение в составе вулканогенных пород влечет изменения интенсивности радиоактивности. Так, среди андезитовых порфиритов и туфов (Центральный Казахстан) выделяют несколько разновидностей с радиоактивностью от 14—16 до 23—25 γ , а среди дацитовых порфиритов — разновидности с уровнем радиоактивности от 26—28 до 33—35 γ (В. В. Дойских, В. Н. Зелепугин и др., 1971 г.). При использовании радиоактивности как индикатора состава породы надо иметь в виду, что геологические образования одного состава, но различных периодов и даже эпох могут характеризоваться различными уровнями радиоактивности. Различными уровнями радиоактивности могут обладать даже разновозрастные лавы и пирокласты, связанные с разными вулканическими очагами. Эти изменения уровней радиоактивности

аналогичных по составу пород могут быть использованы как для корреляции, так и для стратиграфического расчленения вулканогенных толщ.

Для расчленения разреза вулканогенных образований и их стратиграфической корреляции могут быть использованы палеомагнитные данные. Предпосылкой, определяющей возможность решения этой задачи, является частичная сохранность в породах древней намагниченности (палеомагнитная стабильность пород). Применимость к эффузивным образованиям палеомагнитных методов определяется в результате анализа магнитных свойств пород исследуемого района. Наиболее перспективными в этом отношении являются те эффузивные комплексы, в которых происходит чередование в разрезе горизонтов прямо и обратно намагниченных пород, отражающих периодические изменения полярности магнитного поля Земли.

Инверсии геомагнитного поля Земли в прошлом происходили крайне неравномерно. Например, в четвертичный период и неогеновую эпоху инверсии происходили часто (в среднем через 0,5 млн. лет), а в девонский период их почти не было. Это обстоятельство значительно ограничивает применение метода инверсии для возрастной корреляции образований. В случае отсутствия в образованиях обратно и прямо намагниченных слоев основой для расчленения и корреляции разрезов могут служить другие магнитные параметры, изменение которых по разрезу прослеживается по простирацию.

В качестве корреляционных критериев при этом могут быть использованы такие параметры, как величина и направление остаточной намагниченности I_n , магнитная восприимчивость χ , значение Q и др. (Л. Е. Шолпо, В. В. Кочегура и др., 1972 г.). Методика палеомагнитных исследований заключается прежде всего в установлении в разрезе маркирующих горизонтов путем детального отбора ориентированных образцов. Для метода инверсий такими горизонтами являются места в разрезе, где происходит изменение полярности пород. Затем эти маркирующие горизонты прослеживаются по простирацию, для чего производится отбор образцов из серии разрезов. При проведении палеомагнитных исследований небольшие группы (5—10) ориентированных образцов отбирают по возможности равномерно на всей исследуемой площади.

Во многих регионах СССР, особенно где наблюдаются вулканогенные образования орогенной стадии развития складчатых областей (Армения, Центральный Казахстан, Дальний Восток и др.), для выявления и изучения вулканических построек большое значение приобретают данные аэромагнитных съемок. Поэтому на всех этапах геологосъемочных работ следует использовать карты магнитного поля. Необходимо учитывать, что характер аномалий над вулканическими постройками зависит от степени их сохранности. Так, для вулканических построек с малым эрозионным срезом характерны изометричные аномалии с некоторой асимметрией вызванной косым намагничением пород. Знак аномалий над вулканом определяется параметром Q и палеомагнитной эпохой, в период которой формировались породы. Установлено, например, что изометричными положительными аномалиями выделяются все современные вулканические конусы Камчатки. Интенсивность аномалий над ними зависит от их размеров и эффективной намагниченности. В пределах данного региона вулканы, породы которых характеризуются параметром $Q \gg 1$ и образовались в эпоху обратной геомагнитной полярности, выделяются отрицательными аномалиями (Большой Ипелька и другие щитовые вулканы Камчатки). Отрицательные магнитные аномалии характерны для некоторых поздне-неогеновых и раннечетвертичных вулканов Армении (Арагац, Араилер и др.). Это позволяет по знаку магнитной аномалии установить палео-

магнитную эпоху и соответственно геологический возраст формирования вулкана.

В поле силы тяжести вулканические постройки также отмечаются изометричными аномалиями, относительный знак которых определяется составом пород вулкана и фундамента. Количественная интерпретация геофизических данных

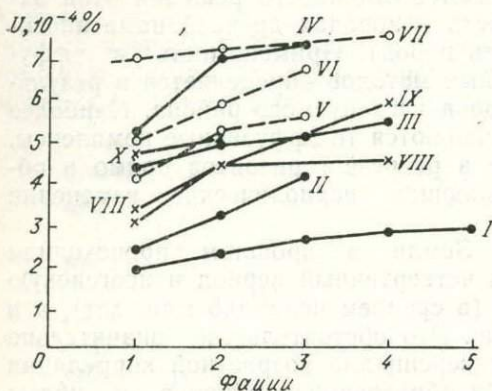


Рис. 20. Распределение урана в различных фациях кислых пород некоторых палеовулканических центров.

Фашии: 1 — покровная (игнимбриты, липариты, фельзиты, лавы и туфы), 2 — экструзивная (крупнопорфировые санидиновые липариты, кварцевые порфиры), 3 — жерловая (лапиллиевые и агломератовые туфы, вулканические брекчи смешанного состава, лаво- и туфобрекчи), 4 — субвулканическая (микрогранит-порфиры, сферолитовые порфиры, полифировые фельзитовые порфиры и др.), 5 — гиабиссальная (невадитовые гранит-порфиры, граносениит-порфиры).

Вулканы. Горный Алтай: I — Мебнухинский в Каргонском прогибе, II — Куратинский в Ануйско-Чуйском прогибе, III — Кылайский в Уйменском прогибе, IV — Чагано-Бургазинский в Аксайском прогибе (по Г. Н. Шапошникову и др., 1967 г.). Забайкалье: V — Урюмкановский в Верхнеурюмкановской депрессии, VI — Гидаринский в Серебряновской депрессии, VII — Тулукеевский в Стрельцовском прогибе (по данным Е. Б. Высокоостровской, Г. А. Шаткова, Е. Н. Гуцина). Казахстан: VIII — Карасайский, IX — Алакольский, X — Диагональный в Чу-Илийских горах (по данным К. И. Дворцовой).

ны, субвулканические и жерловые тела и другие элементы вулканической постройки. Их выявление является задачей геофизика.

Так, в Байназарском рудном районе (Центральный Казахстан) применение широкого комплекса геофизических работ позволило определить глубинное строение интрузии, приуроченной к вулкано-тектонической структуре, оценить мощность остатков эффузивных покровов, выявить разрывные нарушения и т. д. (А. А. Духовский и др., 1977 г.). Анализ гравиметрических и магнитометрических данных, проведенный в тесной увязке с геологическими исследованиями на Кумкольской вулканической структуре (Кураминский хр.), позволил определить строение лакколита, подошву кальдеры, установить ряд разломов и т. п.

Интересную информацию при изучении вулканогенных образований можно получить из развивающихся в настоящее время методов исследования магнетизма горных пород. Установление в породах T_C — точки Кюри, γ_0 и Δm , N_T (получаемых из коэрцитивных спектров) и других параметров, которые определяют состав и магнитное состояние ферромагнетиков, может быть использовано для определения условий образования пород, наложенных процессов. По изменению направления векторов I_n определяется первоначальное положение покровов, что особенно важно при реконструкции вулкана (Л. Е. Шолпо. Использование

позволяет оценить преимущественный состав пород, слагающих вулканы, выявить внутри их или в фундаменте интрузивные тела.

Круг задач, их достоверность и однозначность решения увеличиваются по мере привлечения данных о физических свойствах пород. При среднем и глубоком эрозионном срезе вулканических построек, когда они проявляются через вулкано-тектонические структуры кальдерного типа, характер магнитного поля ΔT_a во многом зависит от преобладания тех или иных их реликтов. Вследствие разнообразия строения вулкано-тектонических структур магнитные поля над ними различаются по насыщенности аномалий, их форме, интенсивности и знаку. В целом характер поля ΔT_a над структурами отличается от характера поля, находящегося за их пределами, что позволяет использовать данные аэромагнитной съемки для их выявления. В ряде случаев (в связи с уменьшением влияния сильно намагниченных эффузивов) в магнитном поле ΔT_a проявляются кальдерные разломы, радиальные трещины

магнетизма горных пород для решения геологических задач. Л., «Недра, 1977. 183 с.; см. настоящий том, с. 79—85).

Породы жерловой фации обладают физическими свойствами, значительно отличающимися от свойств пород покровной фации. Так, породы жерловой фации характеризуются в большинстве случаев большими

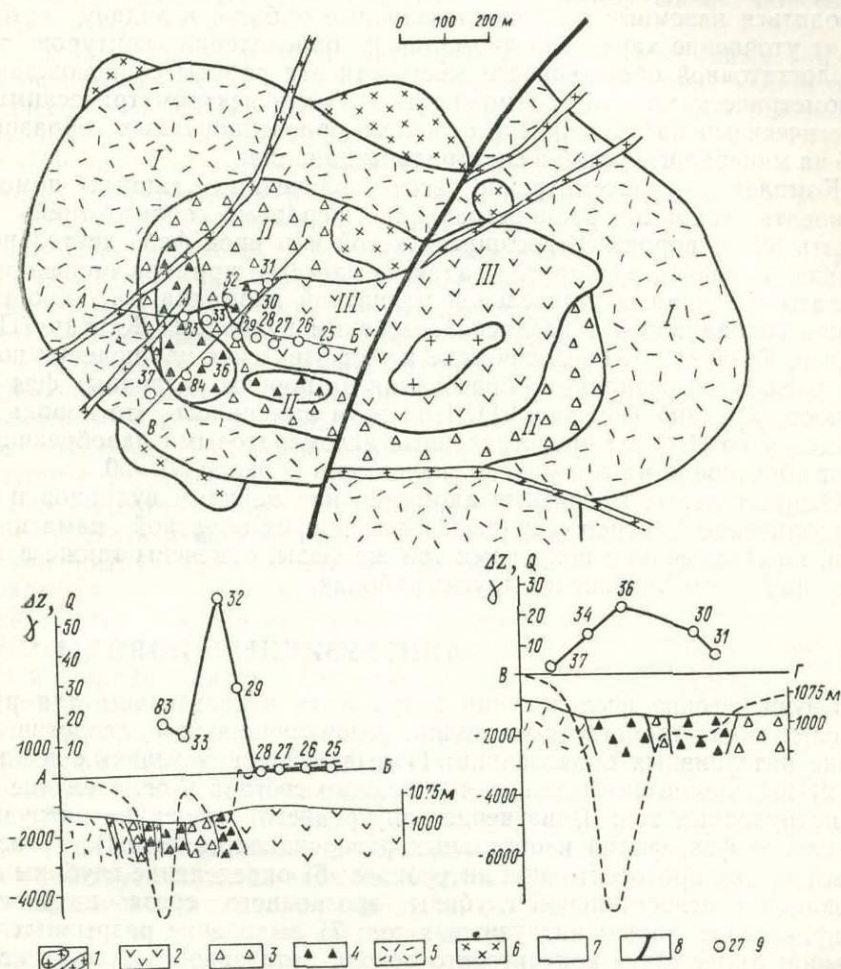


Рис. 21. Геологическая схема вулкана Жантау с данными магнитных характеристик пород (по В. В. Донских, И. И. Кронидову, 1964 г.).

1 — мелкие тела и дайки снетит-порфиров; 2 — трахилипаритовые порфиры (III); 3 — агломератные лавобрекчии трахилипаритового состава (II); 4 — то же, с преобладанием обломков основных лав; 5 — туфолавы и лавы трахилипаритовых порфиров (I); 6 — диоритовые и андезитовые порфириты — реликты более древнего вулкана; 7 — покровные вулканогенные породы; 8 — сбор; 9 — место взятия ориентированного образца; I, II, III — фазы деятельности вулкана.

значениями остаточной намагниченности, повышенным содержанием урана и тория и другими свойствами (рис. 20, 21). Различия в намагниченности и радиоактивности могут быть столь значительными, что аномалии от жерловых тел фиксируются при аэрогеофизических съемках. Магнитные аномалии над жерловыми телами могут быть положительными, отрицательными и более сложной формы [152], (Г. И. Круглякова, 1962 г.).

При анализе геофизических карт производится классификация локальных аномалий с учетом того, что интерес представляют те аномалии, которые не могут быть объяснены влиянием рельефа. Поэтому ана-

лиз как магнитного поля, так и данных радиоактивности необходимо проводить с использованием не только имеющихся геологических материалов, но и топографических карт и аэрофотоснимков.

При геологосъемочных работах места, соответствующие положению обнаруженных геофизических аномалий, должны тщательно изучаться для выяснения причин, вызывающих аномалии. Прежде всего должны проводиться наземные магниторазведочные работы, в задачу которых входят уточнение характера аномалии и определения контуров тела. При достаточной обнаженности местности эти работы сопровождаются радиометрическими (по возможности гамма-спектрометрическими) и геологическими наблюдениями, отбором ориентированных образцов и проб на минералогический и спектральный анализ.

Комплексное рассмотрение всех полученных данных помогает установить границы распространения жерловых образований, расчленить их на породы, относящиеся к той или иной фазе деятельности вулкана, и решить ряд других задач. В качестве примера приведем результаты изучения отрицательной магнитной аномалии ΔZ , пространственно совпадающей с позднепалеозойским вулканом Жантау (Центральный Казахстан). Геологические и геофизические наблюдения позволили расчленить жерловые образования на породы различных фаз деятельности вулкана (см. рис. 21). При этом выяснилось, что породы, относящиеся ко II фазе, представленные агломератовыми лавобрекчиями, имеют обратное намагничение со значениями Q около 30—50.

Отрицательные магнитные аномалии над neckами вулканов и резкое увеличение Q пород жерловой фазы при их обратной намагниченности, по сравнению с покровами той же фазы, отмечены также в Карпатах, на Малом Хингане и в других районах.

ИНТРУЗИВНЫЕ ПОРОДЫ

Геофизические исследования могут быть использованы для решения следующих геологических задач, возникающих при геологической съемке интрузивных образований: 1) выделение интрузивных комплексов; 2) выделение интрузивных тел разного состава и определение границ интрузивных тел; 3) изучение внутреннего строения интрузивов (выделение фаз, фаций и отдельных разновидностей пород); 4) изучение элементов прототектоники интрузивов; 5) определение глубины формирования и относительной глубины эрозионного среза интрузивов; 6) определение формы интрузивных тел; 7) выявление разрывных нарушений; 8) изучение контактового ореола интрузивов и выявление метасоматически и гидротермально измененных пород. Естественно, что в силу различных причин геофизические исследования не могут самостоятельно дать ответа на все эти вопросы, наиболее полное решение которых может быть достигнуто только в тесном сочетании с геологическими, горно-буровыми, геохимическими и другими видами работ.

ВЫДЕЛЕНИЕ ИНТРУЗИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Наиболее уверенно отнесение изучаемого массива к определенному интрузивному комплексу может быть произведено после проведения на нем всего комплекса геофизических работ, позволяющего изучить его пространственное положение, геофизические свойства, физический состав, внутреннее строение, форму, размеры и т. д. При этом следует использовать данные магниторазведки, гравиразведки и радиометрии, а из параметров физических свойств — не только средние значения магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности, плотности и радиоактивности, но и функции распределения этих параметров, направле-

ние вектора I_n в пространстве и т. д. Наибольшее значение имеют магниторазведочные и радиометрические данные, так как намагниченность и радиоактивность пород отражают не только их состав, но и различные условия образования, присущие разным комплексам. Применение для этой цели гравитационных данных возможно в тех случаях, когда интрузивные комплексы резко различаются между собой по составу пород и морфологии тел.

Породы разновозрастных интрузивных комплексов (даже при близком петрографическом составе) обладают, как правило, разной петрофизической характеристикой и отмечаются различными по знаку, напряженности и характеру геофизическими полями. При близкой петрографической характеристике над интрузивами разных комплексов могут наблюдаться различные по напряженности поля, обусловленные различной формой и размерами тел. Интрузивы разных комплексов могут быть пространственно приурочены к определенным региональным особенностям гравитационных и магнитных полей: зонам крупных аномалий разного знака, гравитационным или магнитным ступеням и т. д., отражающим тектонические структуры, структурно-формационные зоны и глубинные разломы.

Как известно, общие закономерности физических свойств и физических полей, характеризующие интрузивный комплекс определенного возраста, выдерживаются лишь в пределах отдельных регионов или складчатых систем и не являются единичными для всей территории СССР. В то же время можно установить и некоторые общие закономерности.

1. Граниты самого молодого интрузивного комплекса каждого тектоно-магматического цикла создают наиболее интенсивные по амплитуде отрицательные гравитационные аномалии, обусловленные значительными вертикальными размерами интрузивных тел этих комплексов (акчатауский, боровской и второй девонский комплексы в Центральном Казахстане, калбинский комплекс на Рудном Алтае, мезозойский комплекс Юго-Восточного Забайкалья и др.). Однако их магнитная характеристика существенно различна в разных регионах и в пределах разных тектоно-магматических циклов. Намечается связь между намагниченностью пород этих комплексов и их металлогеническими особенностями. С магнитными комплексами (например, с акчатауским в Центральном Казахстане) связаны месторождения вольфрама и молибдена. С немагнитными комплексами (калбинский на Рудном Алтае, мезозойский в Юго-Восточном Забайкалье и др.) кроме месторождений вольфрама связаны еще и месторождения олова.

2. В пределах одного тектоно-магматического цикла радиоактивность гранитоидных пород увеличивается от ранних интрузивных комплексов к более поздним (рис. 22). Геофизические критерии, используемые для выделения интрузивных комплексов, можно применять и для косвенных определений возраста пород, так как под интрузивным комплексом понимается совокупность пород одного возраста.

В качестве примера использования геофизических данных для расчленения гранитоидов на разные комплексы рассмотрим Сарытауский массив Центрального Казахстана. На всех геологических картах, составленных до 1964 г., лейкократовые и аляскитовые граниты

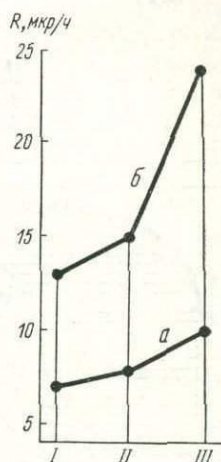


Рис. 22. Диаграмма радиоактивности разновозрастных интрузивных пород Юго-Восточного Забайкалья (по В. Д. Огородникову).

I—III — гранитоиды: I — раннепалеозойские, II — среднепалеозойские, III — мезозойские; а — гранодиориты и биотит-роговообманковые граниты; б — лейкократовые граниты.

этого массива относились к акчатаускому комплексу пермского возраста (В. А. Павлов, 1964 г.; А. В. Авдеев, 1965 г.). Однако над его восточной и западной частями наблюдаются резко различные геофизи-

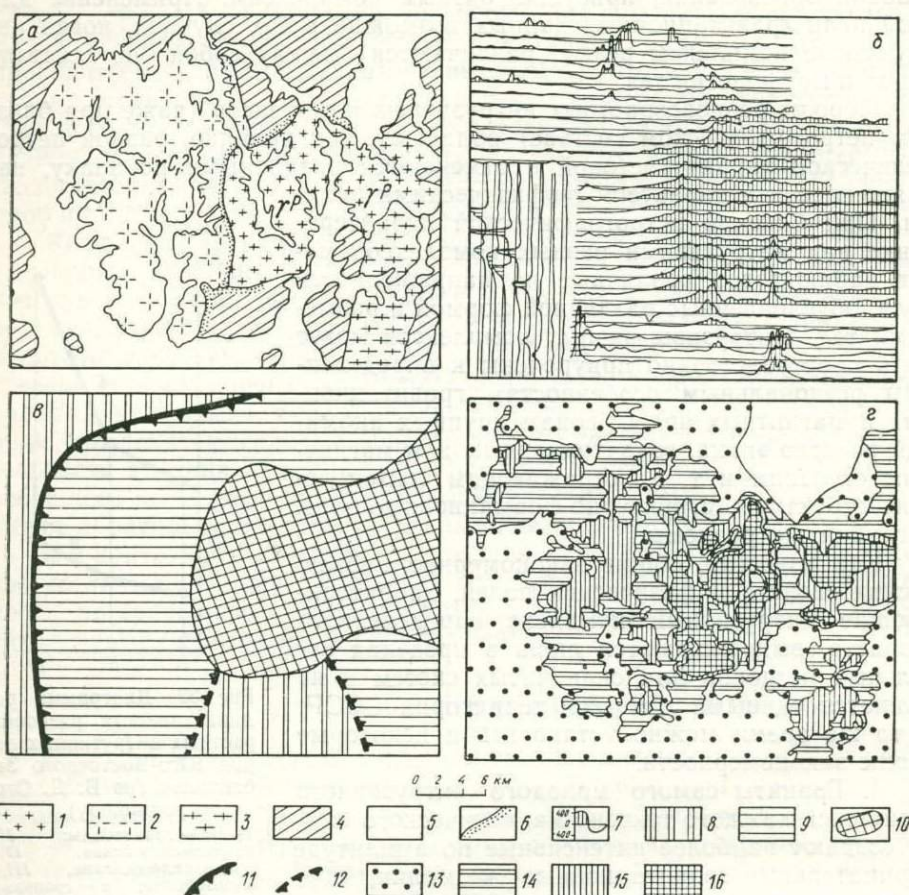


Рис. 23. Результаты геофизических исследований над гранитными массивами, принадлежащими к разным интрузивным комплексам (массивы Западный и Восточный Сарытау, Центральный Казахстан).

a — геологическая карта (по Е. В. Негрей); *б* — карта графиков (составлена А. А. Духовским по материалам Агадырской геофизической экспедиции); *в* — схема расчленения гравитационного поля (по А. А. Духовскому, с использованием материалов С. Г. Когая); *г* — карта гамма-поля (по Ю. Ф. Сапрыкину, аэрогамма-съёмка Н. И. Салова).

1 — лейкократовые и аляскитовые граниты акчатауского комплекса пермского возраста (массив Восточный Сарытау); 2 — лейкократовые граниты предположительно раннекарбонového возраста (массив Западный Сарытау); 3 — гранито-гнейсы позднеротерозойского возраста; 4 — вмещающие породы (метаморфические образования верхнего протерозоя, осадочные образования нижнего палеозоя и осадочные и вулканогенные образования среднего палеозоя); 5 — рыхлые четвертичные отложения; 6 — контактовые роговики; 7 — графики Z_a ; 8 — зоны относительно повышенного гравитационного поля; 9 — зоны относительно пониженного гравитационного поля; 10 — локальная отрицательная гравитационная аномалия большой амплитуды; 11 — гравитационные ступени I порядка (значки направлены в сторону убывания поля); 12 — гравитационные ступени II порядка (значки направлены в сторону убывания поля); 13—16 — интенсивность гамма-поля, мкр/ч: 13 — 8—12, 14 — 12—16, 15 — 16—20, 16 — >20.

ческие поля (магнитное, гравитационное и радиоактивное), что не типично для интрузий акчатауского комплекса (рис. 23). Такая геофизическая характеристика Сарытауского массива позволила предположить, что он сложен породами не одного, а двух интрузивных комплексов.

Это предположение полностью подтвердилось геологическими исследованиями, проведенными Е. В. Негрей, которая в 1964 г. расчле-

нила Сарытауский массив на два комплекса (см. рис. 23, а). Граниты восточной части отнесены ею к акчатаускому комплексу (массив Восточный Сарытау), а возраст более древних гранитов массива Западный Сарытау условно определен как раннекарбонный или среднегерцинский. Между этими гранитами установлен резкий интрузивный контакт с четко проявленной зоной ороговикования.

ВЫДЕЛЕНИЕ ИНТРУЗИВНЫХ ТЕЛ (ПОРОД) РАЗНОГО СОСТАВА

Для решения поставленной задачи должны использоваться материалы геофизических исследований первого этапа (аэромагнитная съемка, аэрогамма-съемка и гравиразведка), а также петрофизические карты или другие данные, отображающие основные закономерности изменения физических свойств горных пород. В некоторых случаях следует проводить электроразведочные исследования методами электропрофилирования на постоянном или переменном токе и наземную магнитную съемку масштабов 1:50 000—1:25 000. Электроразведка должна ставиться для выделения немагнитных интрузивов среди осадочных пород (исключая карбонатные). Наземные магнитные съемки выполняются с целью выделения таких интрузивных тел, которые отличаются от вмещающих их образований лишь характером поля, неустанавливаемым по данным аэромагнитных съемок из-за влияния высоты полета и инерционности приборов.

Для выделения интрузивных тел рекомендуется использовать следующие основные признаки аномальных физических полей.

1. Изменение напряженности поля или его характера над интрузивным телом по сравнению с полем, наблюдаемым над вмещающими образованиями.

2. Изменение напряженности поля или его характера в экзо- или эндоконтактных зонах интрузивов. При этом напряженность поля или его характер над центральной частью интрузива могут не отличаться от напряженности и характера поля над вмещающими образованиями.

На практике для выделения интрузивных тел разного состава чаще всего следует использовать всю совокупность перечисленных выше особенностей физических полей. Наиболее четко и однозначно с помощью геофизических методов выделяются интрузивные тела, расположенные среди осадочных или немагнитных метаморфических образований. Совместное использование магниторазведки или электроразведки, гравиразведки и радиометрии позволяет достаточно надежно выделять в этих случаях интрузивные тела любого состава. Более сложным и неоднозначным является выделение интрузивных тел среди эффузивных и эффузивно-осадочных пород, близких по своему составу к интрузивным (гранитов среди липаритов и кварцевых порфиров, гранодиоритов и кварцевых диоритов среди дацитов и андезитов и т. д.). Довольно часто их физические свойства, а следовательно, и физические поля оказываются столь близкими, что выделение интрузивных образований среди эффузивных становится вообще невозможным. Сказанное не распространяется на те довольно многочисленные случаи, когда интрузивные тела контактируют с близкими им по составу эффузивами лишь до определенной, сравнительно небольшой глубины, а далее с глубокой состав эффузивов меняется. Именно благодаря этому во многих районах СССР лейкократовые и аляскистовые граниты выделяются по аномалиям силы тяжести среди кислых эффузивов, гранодиориты по магнитному полю резко отличаются от вмещающих их дацитов и андезитов и т. д.

Рассмотренные выше принципы выделения интрузивных тел по геофизическим данным в общем справедливы для интрузий любого со-

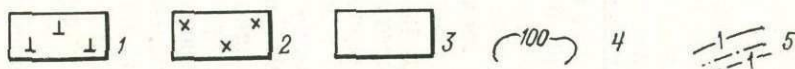
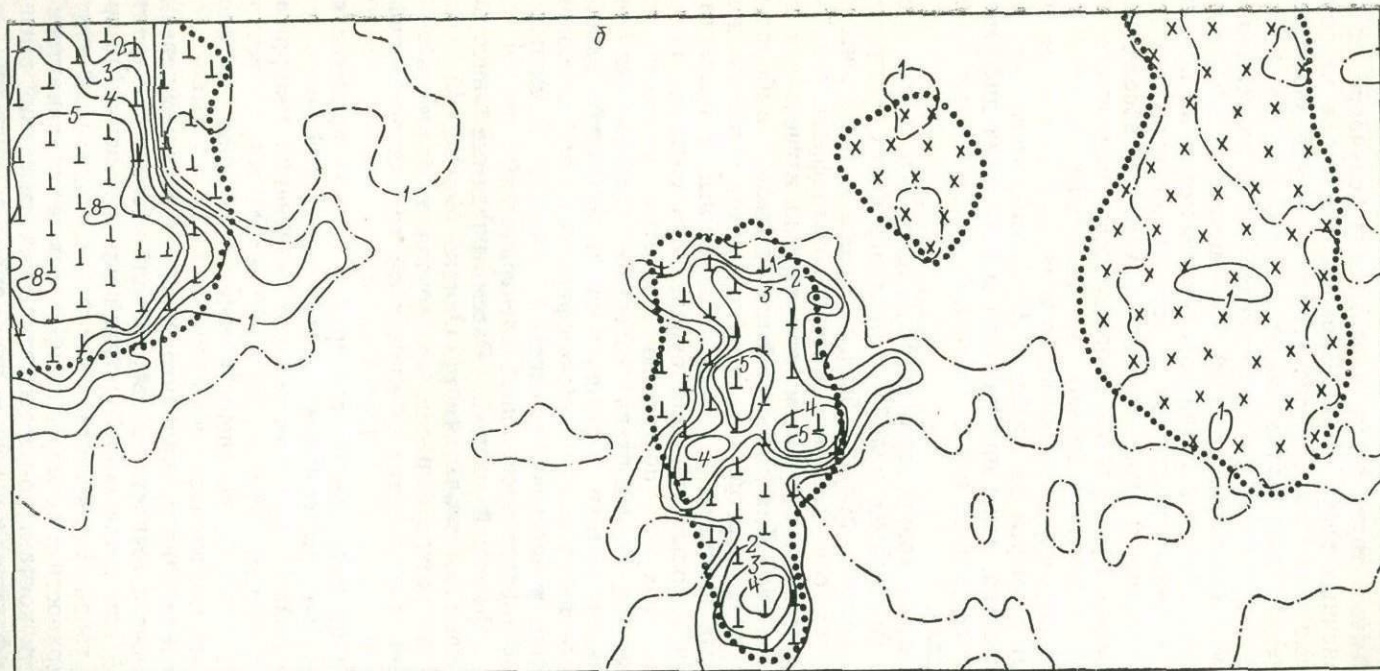
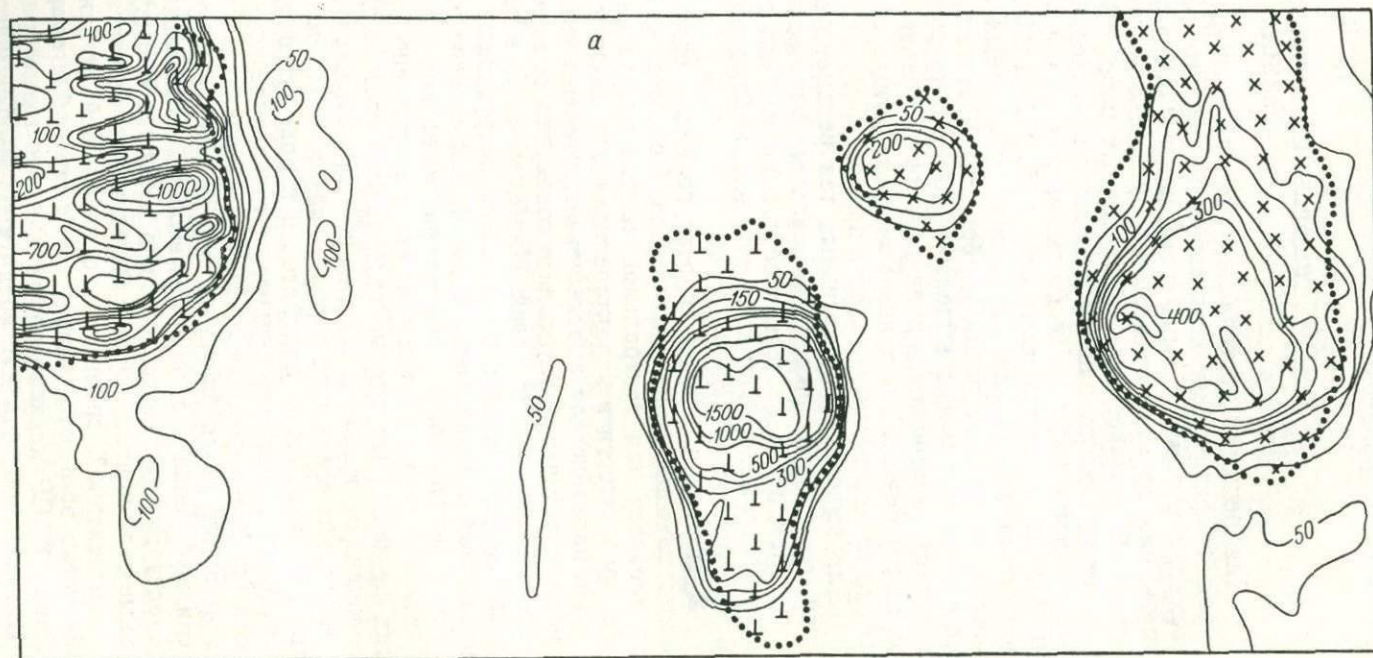


Рис. 24. Выделение малых интрузий разного состава по данным электропрофилеирования (а) и наземной магнитной съемки (б) (по А. Н. Третьяк, В. Е. Каритович).

1 — диорит-порфиры; 2 — гранодиорит-порфиры; 3 — осадочно-туфогенные образования; 4 — изолинии ρ_k по данным электропрофилеирования; 5 — положительная, нулевая и отрицательная изолинии Z_n , мЭ.

става. Определение состава выделенных интрузивных тел производится на основании иных особенностей физических полей, основные из которых следующие: величина напряженности поля, характер поля и форма аномалий в плане.

Определение состава интрузивных тел с помощью этих признаков связано со значительными трудностями и во многих случаях может приводить к неоднозначным результатам. Сложность этой задачи обусловлена тем, что намагниченность, радиоактивность и удельное электрическое сопротивление интрузивных пород разного состава далеко не всегда отличаются друг от друга, что сказывается и на величинах наблюдаемых над ними аномальных полей. Использование для определения состава интрузивных тел гравиразведки, несмотря на наличие прямой зависимости величины плотности от состава, затрудняется тем, что амплитуда гравитационной аномалии определяется не абсолютной, а избыточной плотностью. Кроме этого, напряженность магнитного или гравитационного поля зависит не только от величины намагниченности или избыточной плотности интрузивного тела, но и от его размеров, в том числе и от размеров на глубину. Вследствие этого над интрузивами разного состава, даже при наличии между ними дифференциации в физических свойствах, могут наблюдаться одинаковые по величине аномальные поля.

Поэтому для каждого конкретного региона или его части особенности различных физических полей, характеризующих интрузивные породы разного состава, должны быть уточнены и дополнены исполнителем работ путем сопоставления материалов геофизических исследований с геологически и петрофизически хорошо изученными интрузивами разного состава. Для сопоставления должны выбираться интрузивные тела, принадлежащие к одному комплексу и расположенные среди однотипных вмещающих пород. Полученные в результате этого закономерности используются для определения состава интрузивов в плохо обнаженных или полностью закрытых участках или районах, а также для изучения состава «слепых» интрузивных тел.

На рис. 24 приведен пример выделения малых интрузий разного состава (гранодиорит-порфиров и диорит-порфиритов) на основании электропрофилирования и наземной магнитной съемки. Вмещающие породы представлены хорошо проводящей электрический ток и немагнитной осадочно-туфогенной толщей. Рассматриваемые интрузии выделяются по повышенным значениям ρ_k . Однако магнитной является лишь интрузия диорит-порфиритов, что позволяет отличить ее от немагнитной интрузии иного состава, сложенной гранодиорит-порфирами.

Определение границ интрузивных тел производится в процессе интерпретации геофизических материалов по следующим основным признакам физических полей: 1) по зонам резкого изменения напряженности полей, т. е. по точкам перегиба кривых; 2) по зонам резкого изменения характера поля; 3) по специфическим особенностям полей, соответствующим границам интрузивов.

Возможности определения границ интрузивов с помощью перечисленных выше признаков и точность их определений зависят от характера контакта (резкий или постепенный, ровный или изрезанный), природы контакта (интрузивный или тектонический), величины угла наклона контактовой поверхности и ее морфологии, а также от характера и степени интенсивности контактово-метасоматических изменений вмещающих пород. Все эти факторы в конечном итоге определяют степень контрастности физических свойств в зоне контакта, возможность и точность его установления с помощью геофизических методов.

Наиболее благоприятны случаи, когда контакты интрузивов резкие и ровные, углы наклонов крутые и не меняются с глубиной, эндо- и

экзоконтактовые изменения пород отсутствуют или проявлены слабо. К таким интрузивам относятся прежде всего ультраосновные и основные. К неблагоприятным объектам относятся интрузивные породы кислого и среднего состава, которые вследствие высокой вязкости магмы образуют тела с очень сложной морфологией контактовой поверхности, а благодаря значительному содержанию в магме летучих — широкие ореолы контактово-метасоматических пород.

Определение границ интрузивов по точкам перегиба кривых основывается на том, что местоположению границ тела, поперечные размеры которого больше его глубины залегания, обычно соответствует и местоположение точек перегиба кривых физических полей. Этот способ явля-

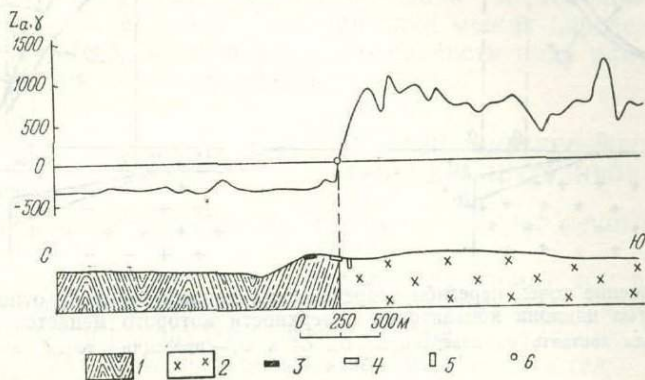


Рис. 25. Определение контакта интрузива кварцевых диоритов по точке перегиба кривой Z_a (по П. Ф. Стрельникову).

1 — кварц-хлоритовые сланцы; 2 — крупнозернистые кварцевые диориты; 3 — коренное обнажение; 4 — канава; 5 — шурф; 6 — точка перегиба кривой Z_a .

ется одним из наиболее точных. На рис. 25 приведен пример использования данных наземной магнитной съемки для определения по точке перегиба кривой Z_a границы интрузива кварцевых диоритов, перекрытой маломощными четвертичными отложениями.

Несовпадение точек перегиба кривых с границами интрузивных тел может быть обусловлено двумя причинами.

1. Отсутствие резкой дифференциации физических свойств эндо- и экзоконтактов интрузивов, причиной которого являются контактово-метасоматические процессы. В этом случае точка перегиба кривой будет соответствовать не контакту интрузива, а границе зоны его экзоконтактовых изменений.

2. Несовпадение точек перегиба кривых ΔT , Z_a и Δg с границами интрузивов на поверхности может быть обусловлено также резким изменением на глубине углов наклона контактовой поверхности, т. е. ее сложной морфологией (рис. 26).

Поэтому вместо магниторазведки и гравиразведки для определения границ интрузивов со сложной морфологией контактовой поверхности можно использовать электроразведку и радиометрию, так как из-за небольшой глубинности этих методов на местоположении точек перегиба кривых не сказывается изменение с глубиной углов наклона контактовой поверхности (рис. 27).

Определение границ интрузивных тел по зоне резкого изменения характера поля производится в тех случаях, когда интрузивные и вмещающие их породы отличаются друг от друга лишь характером поля при одинаковом среднем уровне его напряженности. Местоположение границы устанавливается по линии или зоне, разделяющей области с различным характером поля. Точность определения границ, как

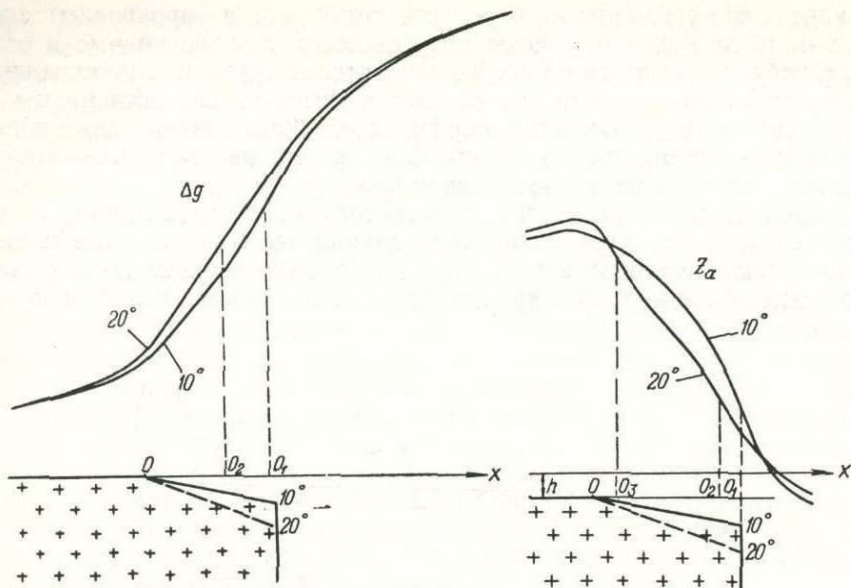


Рис. 26. Положение точек перегиба теоретических кривых Δg и Z_α относительно границ тела, угол наклона контактовой поверхности которого меняется с глубиной. O — точка выхода контакта на поверхность; O_1, O_2 и O_3 — проекции точек перегиба кривых Δg и Z_α .

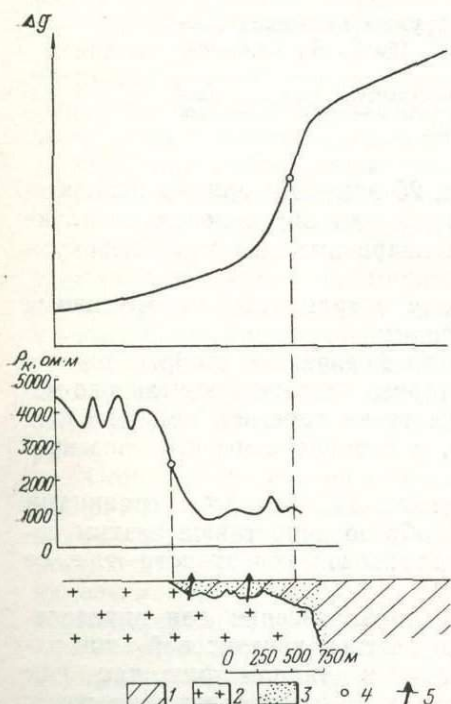


Рис. 27. Определение границы интрузива по данным электропрофилеирования (по А. А. Духовскому, с использованием материалов В. Н. Ванюкова).

1 — песчаники и алевролиты; 2 — порфировидные биотитовые и двуслюдяные граниты; 3 — контактово-метаморфизованные породы; 4 — точки перегиба кривых Δg и ρ_k ; 5 — буровые скважины.

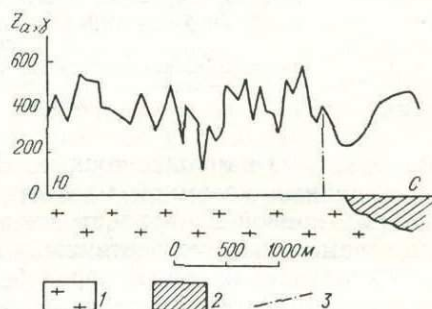


Рис. 28. Определение границы интрузива по зоне изменения характера магнитного поля (массив Бектауата в Центральном Казахстане).

1 — граниты; 2 — эффузивно-осадочные образования; 3 — граница изменения характера магнитного поля.

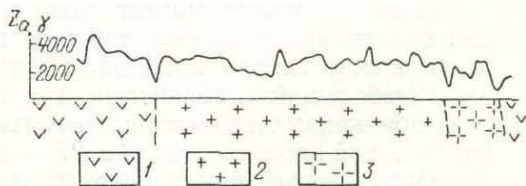


Рис. 29. Определение границы интрузива по специфическим особенностям магнитного поля — локальным минимумам Z_α (по Н. Д. Знаменскому).

1 — пироксен-плагноклазовые порфиры; 2 — кварцевые диориты; 3 — плаггиграниты.

правило, невелика и зависит от ширины и контрастности зоны перехода между полями разного характера (рис. 28).

Определение границ интрузивов по специфическим особенностям поля основывается на том, что непосредственно в зоне контакта могут происходить резкие изменения физических свойств, вызванные привнесением или выносом вещества, дроблением пород, их расщеплением и т. д. Иногда зоны контактов сопровождаются внедрением даек и жил различного состава. Вследствие этого над контактами наблюдаются локальные положительные или отрицательные аномалии (рис. 29), а также зоны более изрезанного или, наоборот, более спокойного поля. Эти специфические особенности полей, устанавливаемые на опорных профилях, и используются для трассирования местоположения границы интрузива. С помощью этого признака можно определять границы таких интрузивов, которые по напряженности поля или его характеру не отличаются от вмещающих образований.

ИЗУЧЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ИНТРУЗИВОВ

Использование геофизических данных позволяет решить следующие задачи.

1. Выделить и оконтурить в пределах массивов, в том числе и под перекрывающими образованиями, породы разных фаз, фаций и разновидностей, если они различаются между собой по значению физических параметров, характеру их распределения и морфологии тел.

2. Установить принадлежность определенных разновидностей пород к той или иной фазе или фации интрузивного комплекса.

3. Путем сопоставления значений аномальных полей с физическими свойствами образцов и с геологическими данными выяснить преобладающее развитие в теле интрузива пород определенной фазы или фаз.

4. Изучить форму тел, сложенных породами разных фаз или разновидностей.

Комплекс геофизических методов или метод, который следует применять для расчленения интрузивов на породы разных фаз и фаций, зависит от характера и сложности геологического строения изучаемого массива, степени его обнаженности и характера дифференциации пород по физическим свойствам. Например, аэромагнитные съемки в комплексе с аэрогамма-съемками целесообразно использовать для расчленения интрузивов относительно простого внутреннего строения, различные породы которых образуют крутонаклонные тела, отличающиеся друг от друга по средней напряженности поля. Наземные магнитные съемки рекомендуется применять в тех случаях, когда интрузивы характеризуются очень сложным строением магнитного поля или когда породы разных фаз или фаций отличаются друг от друга лишь по степени изрезанности магнитного поля.

При аэромагнитных съемках происходит обычно сглаживание поля и исчезают его мелкие, но существенные детали, которые зачастую являются единственными признаками, позволяющими расчленить изучаемый массив. В качестве примера приведем данные аэромагнитной и наземной магнитной съемки по Коктаасскому гранитному массиву пермского возраста в Центральном Казахстане (рис. 30). Данный массив сложен преимущественно гранитами двух фаз внедрения, которые резко различаются между собой по магнитным свойствам. Поскольку граниты фазы дополнительных интрузий образуют среди гранитов главной интрузивной фазы маломощные пластовые тела, магнитные поля над этими породами отличаются лишь по степени изрезанности, не устанавливаемой аэромагнитной съемкой.

Если породы разных фаз слабомагнитны и не отличаются по радиоактивности или эти отличия не могут быть выявлены из-за большой мощности наносов, для расчленения интрузивов следует привлекать гравиразведку. При этом необходимо учитывать, что применение гравиразведки возможно лишь в тех случаях, когда тела, сложенные поро-

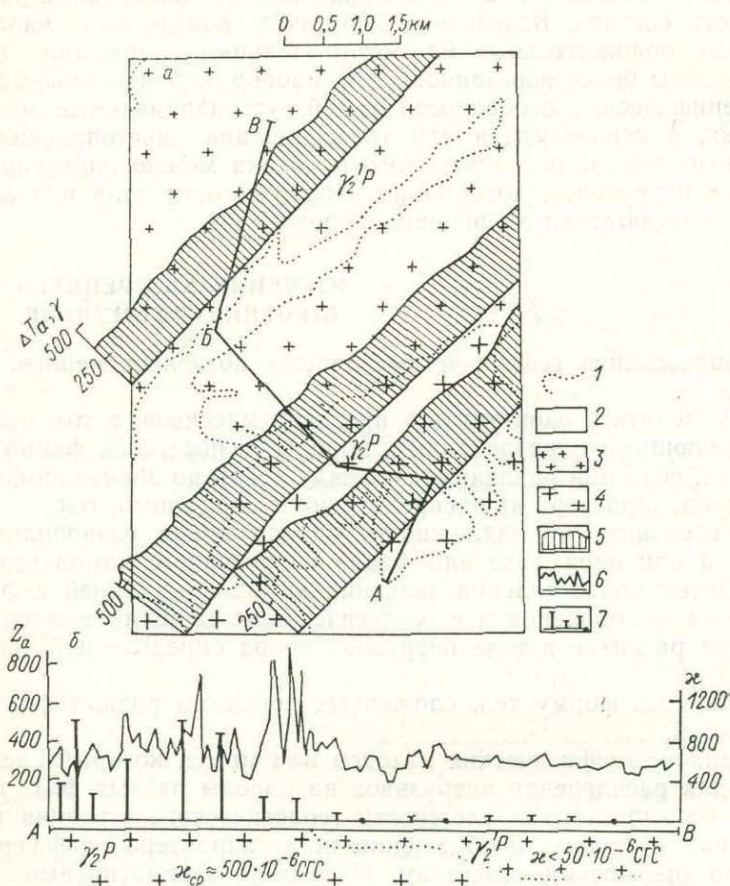


Рис. 30. Характер магнитного поля по данным аэромагнитной (а) и наземной магнитной (б) съемок над гранитами различных фаз внедрения Коктасского массива в Центральном Казахстане (по А. А. Духовскому, с использованием материалов В. П. Пака и В. Н. Казьмина).

1 — геологические границы (на карте, по В. Н. Казьмину); 2 — четвертичные образования; 3 — средние и мелкозернистые аляскитовые граниты фазы дополнительных интрузий; 4 — крупнозернистые лейкократовые биотитовые граниты главной интрузивной фазы; 5 — графики ΔT_a (по В. П. Паку, прибор АММ-13, высота полета 50 м); 6 — график Z_a по профилю АВВ; 7 — значения магнитной восприимчивости образцов.

дами разных фаз или разновидностей, резко различаются между собой по составу и обладают, кроме того, весьма значительными размерами.

Интересные результаты по применению геофизических и петрофизических данных для расчленения интрузивов получены на Боровском гранитном массиве в Центральном Казахстане. По этому массиву разными геологами, несмотря на сравнительно хорошую обнаженность, составлены различные геологические карты (рис. 31). Если всеми геологами среди гранитов Боровского массива выделены две господствующие разновидности — среднезернистые биотит-роговообманковые гра-

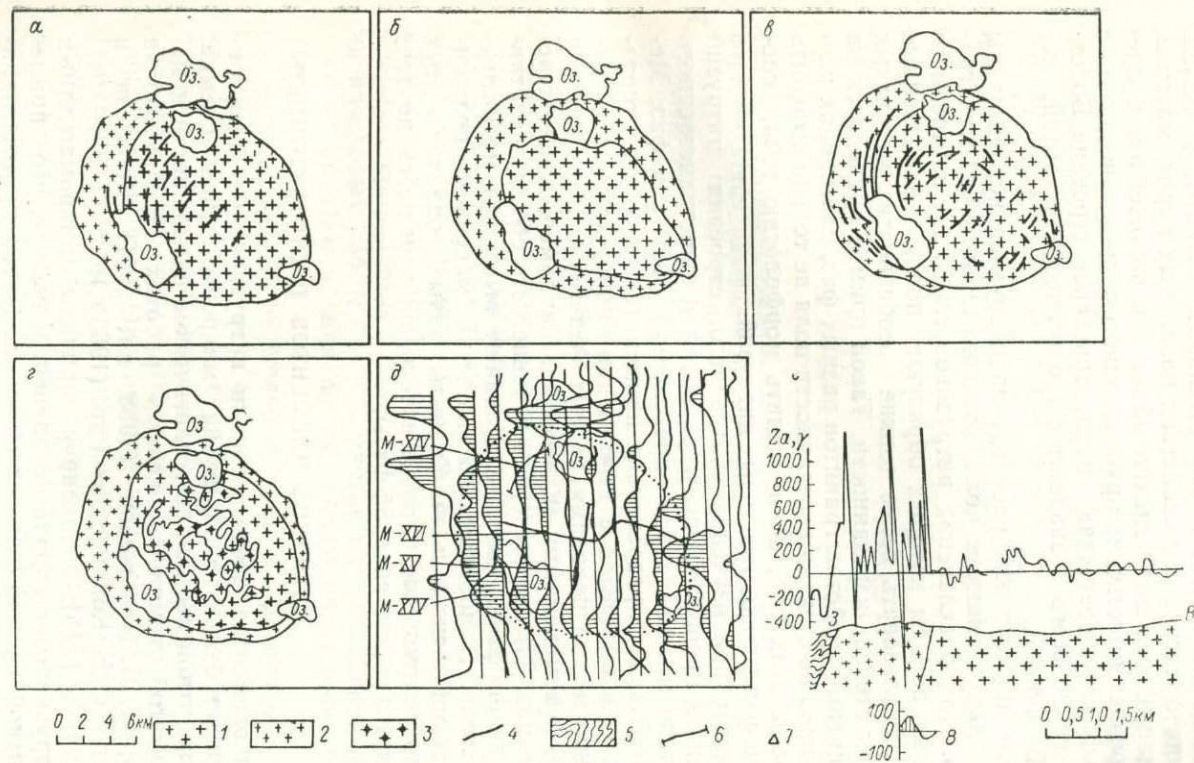


Рис. 31. Геологические и геофизические данные об особенностях внутреннего строения Боровского гранитного массива в Центральном Казахстане. *a, б, в, г* — геологические карты массива: *a* — по П. Н. Кропоткину и А. В. Глазковской, *б* — по Т. В. Билибной, *в* — по М. А. Абдулкабировой и С. Б. Бакирову, *г* — по А. М. Подольскому и Г. Н. Байдошвили (съёмка масштаба 1 : 50 000); *д* — карта графиков ΔT_a , по С. М. Кострикиной (прибор АЭМ-49, высота полета 200 м). Точками показана граница массива, снятая с карты А. М. Подольского и Г. Н. Байдошвили; *е* — график Z_a и геологический разрез (по А. М. Лоскутову и А. М. Подольскому).

1 — крупнозернистые порфировидные биотитовые и биотит-роговообманковые граниты (по М. А. Абдулкабировой, А. М. Подольскому и Г. Н. Байдошвили главная интрузивная фаза); 2 — среднезернистые биотит-роговообманковые граниты (по М. А. Абдулкабировой, А. М. Подольскому и Г. Н. Байдошвили фаза дополнительных интрузий); 3 — резкопорфировидные лейкократовые биотитовые граниты, переходящие в мелкозернистые аплитовидные; 4 — жильные тела гранит-порфиров и аплитовидных гранитов; 5 — эффузивно-осадочные образования ϵ_{1-2} (?); 6 — маршруты и их номера, по которым отбирались образцы для изучения физических свойств гранитов; 7 — карьер; 8 — графики ΔT_a .

ниты и крупнозернистые порфирировидные биотитовые и биотит-рогово-обманковые граниты, то границы между ними и условия образования гранитов трактуются по-разному.

По данным аэромагнитной съемки Боровской гранитный массив имеет четко выраженное концентрическое строение магнитного поля. Над его краевой частью наблюдается кольцевая положительная магнитная аномалия ΔT_a интенсивностью 100—200γ, а центральная часть отмечается слабopоложительным и отрицательным магнитным полем. Учитывая сведения о магнитных свойствах различных пород массива, такое строение магнитного поля можно объяснить положением в пределах массива среднезернистых и крупнозернистых гранитов. Данные аэромагнитной съемки подтверждают концентрическое строение Боровского массива и лучше всего совпадают с геологической картой, составленной Т. В. Билибиной.

В приведенном примере для расчленения интрузива использованы данные о средней напряженности поля, которой характеризуются граниты разных фаз. Для расчленения интрузивов сложного внутреннего строения, различные породы которых образуют полого наклоненные тела, приходится использовать более тонкие особенности магнитных полей, например их степень изрезанности. Такой пример приводится на рис. 30. Зная магнитные свойства гранитов разных фаз, слагающих изучаемый массив, можно по степени изрезанности поля не только выделить и оконтурить породы этих фаз, но и оценить морфологию тела, сложенного гранитами фазы дополнительных интрузий.

Большое значение при изучении внутреннего строения интрузий придается выяснению преобладающего развития и пространственного распределения в теле массива пород определенной фазы или фаз. Методика решения этой задачи разработана применительно к магниторазведочным данным и заключается в вычислении напряженности магнитного поля, создаваемого породами разных фаз изучаемого массива и сопоставлении их с измеренными значениями. Например, для Коктасского массива (см. рис. 30) выяснено, что основной его объем представлен гранитами главной фазы, которые обладают высокими магнитными свойствами и создают наблюдаемую над этим массивом положительную аномалию магнитного поля. Граниты фазы дополнительных интрузий образуют маломощное пластовое тело, внедрившееся по трещинам отдельности в граниты главной фазы.

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТОТЕКТОНИКИ

Для изучения элементов прототектоники интрузивов из геофизических методов может быть использована микромагнитная съемка. Сущность микромагнитной съемки, ее геологические возможности и методика проведения этой съемки изложены в работах Л. Лаутербаха (1957 г.), [431], Т. С. Игнатъевой (1958 г.), Л. П. Жоголева и Б. В. Грана (1959 г.), С. Н. Кондрашова и др. (1965 г.).

В. Д. Огородников [316], анализируя причины микромагнитных аномалий над интрузивными породами, пришел к выводу, что применение микромагнитной съемки для изучения элементов прототектоники возможно лишь в тех случаях, когда интрузив не затронут более поздними интенсивными тектоническими процессами, приведшими к появлению вторичной системы трещин и зон расслаивания и катаклаза, которые заглушают микроаномалии, создаваемые элементами прототектоники. Кроме этого, микромагнитные аномалии от элементов прототектоники могут быть замаскированы также неоднородным распределением ферромагнитных минералов в интрузивных породах и их неоднородной остаточной намагниченностью, обусловленной гидротер-

мальными и метасоматическими процессами, а также другими, не выясненными пока причинами.

Поскольку микромагнитные аномалии над интрузивными породами создаются не только элементами прототектоники интрузивов, но и другими причинами, постановка микромагнитной съемки для изучения этих элементов целесообразна лишь в комплексе с обычными методами структурной петрологии.

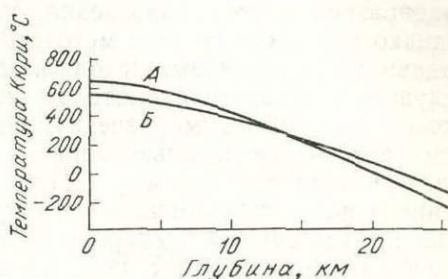
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА ИНТРУЗИВОВ И ГЛУБИНЫ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Для оценки относительной глубины эрозионного среза интрузивов можно наметить три основных способа.

1. Данные об относительной глубине эрозионного среза куполообразных гранитных интрузивов могут быть получены путем сопостав-

Рис. 32. Зависимость температуры Кюри ферромагнитных минералов от глубины (по Н. Каваи).

Серии твердых растворов: А — ильменито-гематита, Б — ульвошпинель-магнетита.



ления контуров гравитационных и магнитных аномалий, наблюдаемых над интрузивами или их краевыми зонами экзо- или эндоконтактов, с геологическими границами этих массивов на поверхности эрозионного среза (без рыхлых или покровных отложений). В результате этого можно выделить интрузивы, кровля которых полностью срезана эрозией, интрузивы, кровля которых частично вскрыта эрозией, и не выходящие на поверхность эрозионного среза («слепые») интрузивные тела. Разделение интрузивных тел по степени эродированности их кровли имеет большое значение для правильной ориентировки поисковых работ, так как многие месторождения полезных ископаемых приурочены к апикальным частям интрузивов и к надинтрузивным зонам.

2. О разной относительной глубине эрозионного среза интрузивов может свидетельствовать характер распределения остаточной намагниченности, так как она, отражая термодинамические условия становления интрузива и изменение его химического состава с глубиной, изменяется по вертикали. Это установлено А. А. Духовским и Л. Т. Мишиным для Кызыл-Омпульского гранитоидного массива Северного Тянь-Шаня, где по мере увеличения глубины эрозионного среза увеличивается количество обратно намагниченных пород, которые преобладают в наиболее глубоких частях интрузива. Аналогичные данные получены также Д. И. Саврасовым и Г. Г. Камышевой (1963 г.), которыми изучалось распределение остаточной намагниченности Аламджакской интрузии траппов по всему ее разрезу — от кровли к подошве. В результате установлено, что наибольшей остаточной намагниченностью обладают породы кровли интрузии. Для нижних ее горизонтов величина I_n значительно меньше. Образцы, отобранные из кровли интрузии, имели хаотическое азимутальное направление векторов I_n , причем в отдельных образцах даже положительную намагниченность, которая не наблюдается в низах интрузива. С приближением к цен-

тральной части интрузии разброс векторов I_n значительно уменьшается. Наиболее кучное распределение векторов I_n характерно для нижних горизонтов интрузии.

3. Для оценки глубины эрозионного среза гранитных интрузивов и глубины их становления можно использовать радиометрические данные. Методика таких исследований предложена Н. Н. Амшинским (1960 г.).

Интересную и весьма перспективную методику оценки глубины формирования интрузивных пород предложил Н. Каваи [300], используя косвенную зависимость температур точек Кюри ферромагнитных минералов от глубины их образования (рис. 32). Для этого по термомагнитному анализу неизмененных образцов горной породы определяют температуру Кюри, а по данным минералогических и рентгеноструктурных исследований — состав и строение ферромагнитных минералов.

ИЗУЧЕНИЕ ФОРМЫ ИНТРУЗИВНЫХ ТЕЛ

Для определения формы интрузивных тел могут быть использованы гравиразведка, магниторазведка, сейсморазведка и электроразведка. Однако возможности этих методов, их роль и место в решении данной задачи резко различны. Исходя из теоретических предпосылок, одним из ведущих геофизических методов изучения формы интрузивных тел можно считать сейсморазведку. Однако из-за отсутствия разработанной методики ее использования и высокой стоимости работ этот метод еще не занял ведущее место. Применение электроразведки для определения формы интрузивных тел также пока ограничено, что объясняется малым опытом подобных исследований и недостаточно разработанной методикой работ. В то же время необходимо отметить, что для изучения морфологии верхних частей интрузивных тел электроразведка обладает большими теоретическими возможностями, чем магниторазведка или гравиразведка.

Основными методами определения формы интрузивов, используемыми в настоящее время, являются гравитационный и магнитный. Возможности их применения для этой цели обусловлены тем, что гравитационные и магнитные аномалии, создаваемые интрузивными телами, зависят не только от физических свойств этих тел, но от их размеров и формы. При этом ведущая роль, несомненно, принадлежит гравиразведке, так как аномалии силы тяжести Δg более чувствительны к изменению формы тела, чем магнитные.

При использовании геофизических данных для определения формы интрузивных тел мы вынуждены предполагать, что граница изменения физических свойств между интрузивом и вмещающими его породами резкая, скачкообразная и совпадает с геологической границей. Сам интрузив и вмещающие его породы при этом характеризуются однородными и не изменяющимися с глубиной физическими свойствами. Такие допущения обусловлены возможностями имеющихся в настоящее время методов интерпретации геофизических данных. Поскольку в природе эти условия соблюдаются далеко не всегда, форма интрузивных тел по геофизическим данным будет определяться приближенно и с неизбежными ошибками, учесть которые в полной мере пока невозможно. Для уменьшения неоднозначности интерпретации кроме комплексирования различных геофизических методов необходимо привлекать все возможные геологические данные, а сама интерпретация геофизических материалов должна основываться на результатах изучения физических свойств образцов горных пород. Чем лучше изучены геологическое строение поверхности и ее петрофизическая характеристика, тем более объективными и достоверными получаются сведения о форме интрузивных тел на глубине. Поэтому геофизические исследования с целью определения формы интрузивов следует проводить

лишь в таких районах, где геологическое строение того яруса, к которому они приурочены, изучено геологическими съемками масштаба 1 : 50 000 и крупнее.

Методы определения формы геологических тел по геофизическим данным позволяют получить достаточно надежное решение этой зада-

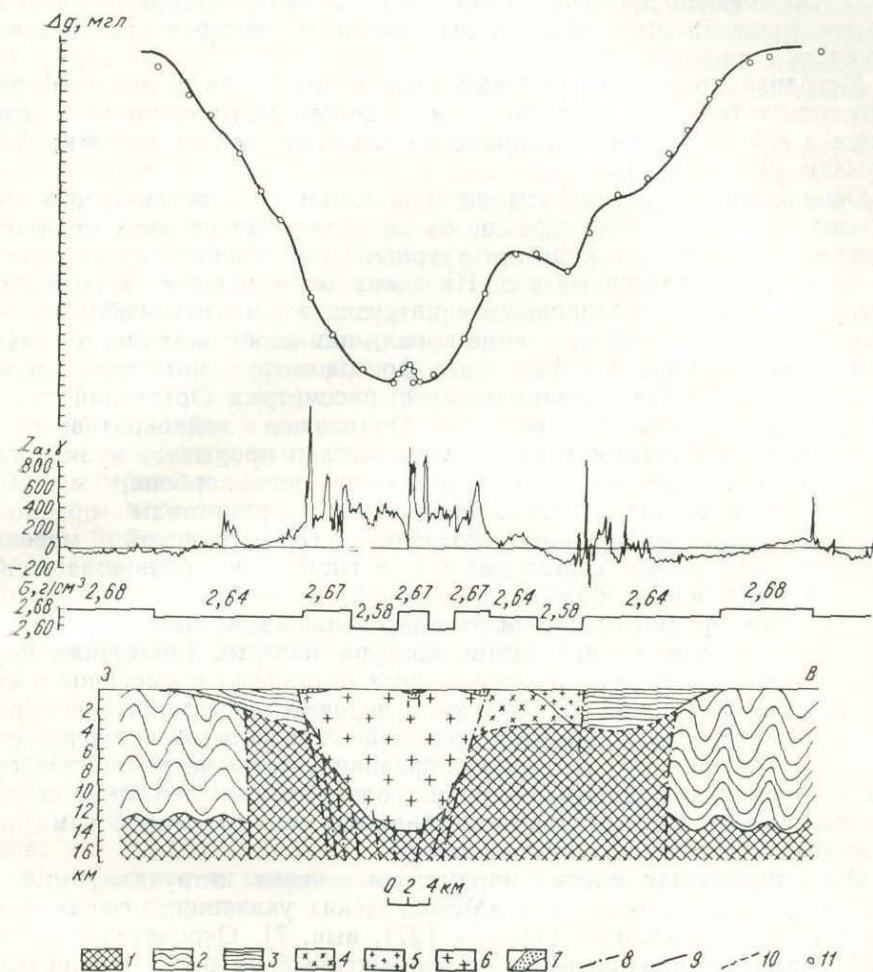


Рис. 33. Форма сечения Ортауского гранитного массива (Центральный Казахстан), определенная по гравитационным и магнитным данным (по А. А. Духовскому и Ю. П. Ненашеву).

1 — метаморфический комплекс верхнего протерозоя: порфиронды, гнейсы, гранито-гнейсы, кварциты, яшмоиды, сланцы ($\sigma=2,64 \text{ г/см}^3$); 2 — зеленокаменные толщи нижнего и верхнего силура: песчаники, конгломераты, сланцы, диабазы, порфириды, яшмы ($\sigma=2,68 \text{ г/см}^3$); 3 — вулканогенно-осадочные породы среднего девона — нижнего карбона: липариты, андезиты, дациты, песчаники, туффиты, известняки ($\sigma=2,64 \text{ г/см}^3$); 4—5 — Космурунский гранитоидный массив предположительно раннекарбонического возраста: 4 — гранодиориты и меланократовые граниты ($\sigma=2,64 \text{ г/см}^3$), 5 — лейкократовые граниты ($\sigma=2,58 \text{ г/см}^3$); 6 — Ортауский массив пермского возраста: лейкократовые и аляскитовые граниты ($\sigma=2,58 \text{ г/см}^3$); 7 — зона ороговикованных пород; 8 — тектонические нарушения; 9 — границы, проведенные по геофизическим и геологическим данным; 10 — предполагаемые границы, проведенные по геологическим и геофизическим данным; 11 — значения Δg , полученные в результате подбора.

чи лишь в тех случаях, когда вертикальные размеры тел меньше или соизмеримы с их поперечными размерами. Таким требованиям будут удовлетворять крупные в плане интрузивные массивы, для которых маловероятно, что они уходят на бесконечную, по сравнению с их гори-

зонтальными размерами, глубину. Для малых интрузий можно лишь оценить их некоторые параметры, например угол падения.

Количество параметров интрузивного тела, подлежащих определению, а следовательно, и методика геофизических исследований зависят от уровня среза кровли интрузива. С этой точки зрения все интрузивные тела следует разделить на три группы: интрузивы, кровля которых полностью срезана эрозией; интрузивы, кровля которых частично вскрыта эрозией; интрузивы, не выходящие на поверхность эрозионного среза («слепые» тела).

Методика проведения полевых исследований для изучения формы интрузивных тел и интерпретация получаемых результатов рассматриваются в «Методических указаниях по геологической съемке масштаба 1 : 50 000» [271, вып. 7].

Окончательные результаты интерпретации представляются в виде разрезов, блок-диаграмм, карт-срезов на различных уровнях от земной поверхности, а также в виде структурных схем равных глубин залегания контактов интрузивных тел. На таких структурных схемах для «слепых» или слабоэродированных интрузивов следует особо подчеркивать изолинии глубин залегания кровли или изображать их отдельно.

В качестве примера определения формы интрузивных тел, кровля которых не полностью срезана эрозией, рассмотрим Ортауский массив Центрального Казахстана (рис. 33). Он сложен лейкократовыми и аляскитовыми гранитами пермского возраста и прорывает вулканогенно-осадочные породы среднего девона — нижнего карбона, метаморфические образования верхнего протерозоя и гранитоиды предположительно раннекарбонного возраста (Космурунский массив). Плотность гранитов составляет $2,58 \text{ г/см}^3$, а средневзвешенная плотность вмещающих образований равна $2,64 \text{ г/см}^3$.

Интрузив Ортау отмечается отрицательной гравитационной и положительной магнитной аномалиями, контуры которых (по точкам перегиба) не совпадают с его геологическими границами и смещены в сторону вмещающих пород на 3—4 км. Следовательно, данный интрузив характеризуется сложной морфологией контактовой поверхности, обусловленной тем, что его куполообразная кровля не полностью срезана эрозией. Это подтверждается и геологическими данными, согласно которым вмещающие породы в пределах гравитационной и магнитной аномалий интенсивно ороговикованы.

Ориентировочная оценка параметров сечения интрузива выполнена по методике, изложенной в «Методических указаниях по геологической съемке масштаба 1 : 50 000» [271, вып. 7]. Окончательный вариант формы сечения интрузива, изображенный на рис. 33, определен методом подбора. Тектонические нарушения, смещающие глубинные контакты интрузива, показаны предположительно, для объяснения механизма его формирования. Непосредственно по геофизическим данным они не устанавливаются.

МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД И ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Метаморфические породы по физическим свойствам весьма разнообразны. Их плотность в зависимости от минералогического состава может изменяться в широких пределах (от $2,40$ до $3,40 \text{ г/см}^3$). По данным Н. Б. Дортман (1964 г.), отмечается закономерная тенденция к увеличению средней плотности пород различных фаций метаморфизма от низких ступеней к более высоким, за счет появления в породах

минералов с большой плотностью, образующихся в условиях высоких давлений и температур.

При ультраметаморфизме, включающем гранитизацию, калиевый метасоматоз приводит к разуплотнению пород; при натриевом и кальциевом метасоматозе плотность не изменяется или несколько возрастает. Плотность образующихся при ультраметаморфизме гнейсов, мигматитов, чарнокитов и метасоматических гранитов, зависящая, кроме того, от первичной породы и от степени их измененности, варьирует в сравнительно небольших пределах. Так, плотность чарнокитов изменяется от 2,67 до 2,72; мигматитов — от 2,62 до 2,70; метасоматических гранитов — от 2,56 до 2,68 г/см³.

Намагниченность (κ , I_n) метаморфических пород определяется главным образом содержанием в них ферромагнитных минералов. Большая изменчивость содержания ферромагнитных минералов, связанная со сложными и разнохарактерными процессами образования пород, влиянием первичного субстрата и процессов вторичного изменения, приводит к изменению намагниченности в весьма широких пределах.

Парапороды (глиноземистые кристаллические сланцы и гнейсы, кварциты, кремнистые сланцы, мраморы и амфиболиты), образовавшиеся в результате метаморфизма практически немагнитных осадочных пород, обладают κ и I_n , редко превышающими $50 \cdot 10^{-6}$ СГС. Ортопороды, образовавшиеся в результате метаморфизма магматических пород, имеющих различную намагниченность, характеризуются широкими пределами изменения намагниченности. Это объясняется влиянием неоднородности первичного субстрата и различными химическими процессами, происходящими при метаморфизме и приводящими к новообразованию ферромагнитных минералов или к их выносу, разложению и окислению.

При геологической съемке метаморфических образований геофизические методы могут быть использованы для решения следующих задач:

- 1) расчленения метаморфических образований по их вещественному составу и степени метаморфизма и определения контуров распространения выделенных разновидностей пород;
- 2) изучения интенсивности и характера метаморфизма;
- 3) прослеживания по простиранию выделенных разновидностей пород;
- 4) определения направления и угла падения пластов и изучения пликативных структур.

РАСЧЛЕНЕНИЕ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ПО ИХ ВЕЩЕСТВЕННОМУ СОСТАВУ И СТЕПЕНИ МЕТАМОРФИЗМА

Расчленение метаморфических образований по вещественному составу может быть осуществлено при достаточно четкой их дифференциации по физическим свойствам. Эта же задача частично может быть решена и в том случае, если отдельные разновидности пород не отличаются по физическим свойствам, но между ними располагаются четкие маркирующие горизонты. Решение задачи достигается с помощью гравиразведки и магниторазведки, реже электропрофилирования.

В качестве примера использования геофизических методов для расчленения метаморфических образований ниже приведены результаты работ в Криворожском районе (Н. И. Бакланов, 1963, 1965 г.). Породы криворожской серии, относящиеся к протерозою, разделены на три свиты: нижнюю — аркозово-филлитовую (K_1), среднюю — железорудную (K_2) и верхнюю — существенно сланцевую (K_3). Верхняя свита подразделяется на три подсвиты (K_3^1 , K_3^2 , K_3^3), залегающие в

виде крутопадающих пластов и представленные кварцитами, различными сланцами, кварц-карбонатными породами, метапесчаниками и конгломератами. Породы протерозоя перекрыты позднейшими рыхлыми отложениями мощностью 30—60 м.

Породы верхней свиты удовлетворительно дифференцируются по плотности, что позволило для их расчленения применить детальную вариометрическую съемку. Данные вариометрии позволили установить контакты верхней свиты со средней и нижней свитами (рис. 34), вы-

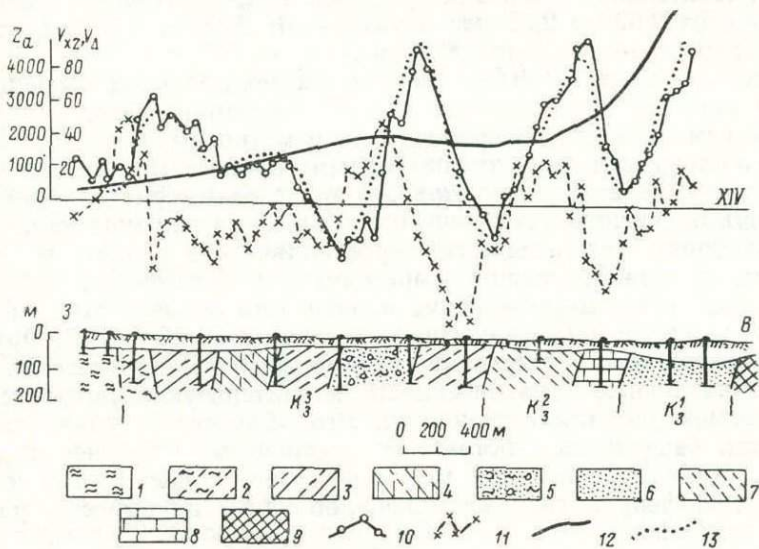


Рис. 34. Расчленение метаморфических пород верхней свиты Криво-рожья по геофизическим данным (по Н. И. Бакланову, 1963 г.).

1 — мигматиты ($\sigma=2,62$ г/см³); 2 — сланцы полевошпато-кварц-биотитовые, разрушенные в зоне западного надвига ($\sigma=2,52$ г/см³); 3 — сланцы полевошпато-кварц-биотитовые ($\sigma=2,82$ г/см³); 4 — сланцы полевошпато-кварц-биотитовые с карбонатом ($\sigma=2,67$ г/см³); 5 — метапесчаники и конгломераты ($\sigma=2,57$ г/см³); 6 — метапесчаники ($\sigma=2,62$ г/см³); 7 — сланцы кварц-графит-серицитовые ($\sigma=2,57$ г/см³); 8 — доломиты ($\sigma=2,87$ г/см³); 9 — железистые кварциты ($\sigma=3,12$ г/см³); 10 — кривая V_{xz} ; 11 — кривая $V_\Delta = V_{xz} - V_{yy}$; 12 — кривая ΔZ ; 13 — теоретическая кривая V_{xz} .

делить в ней три подсвиты, а также отдельные пласты, отличающиеся по вещественному составу и плотности. Наиболее четкие аномалии соответствуют пластам доломитов и сланцев полевошпато-кварц-биотитового состава, обладающих относительно более высокими значениями плотности. Аномалии, обусловленные этими пластами, четко прослеживаются по простирацию, что значительно облегчает расчленение разреза и прослеживание по простирацию горизонтов, хуже выраженных в геофизических полях. Для определения петрографического состава пород выделенных горизонтов использованы данные бурения.

Необходимо иметь в виду, что задача по расчленению метаморфических образований не может быть решена вполне однозначно в силу того, что несколько различным теоретическим разрезам могут отвечать практически одинаковые кривые. Неоднозначность интерпретации, как отмечает Б. А. Андреев [7], резко уменьшается в том случае, если по району работ имеются буровые скважины и если хотя бы по одному из профилей геофизической съемки может быть составлен геологический разрез.

Степень расчленения метаморфической толщи определяется характером аномалий и возможностями интерпретации. Практика показывает, что гравиразведка позволяет уверенно выделить пласты, обла-

дающие избыточной плотностью $0,5 \text{ г/см}^3$ и мощностью, равной или превышающей их глубину залегания. При избыточной плотности $0,15\text{--}0,2 \text{ г/см}^3$ мощность пластов должна быть не менее утроенной глубины залегания. Магнитное поле над метаморфическими породами верхней свиты достаточно однородно. Кривая Z_a изменяется весьма слабо и не отражает смену вещественного состава пород. Лишь в восточной части приведенного профиля отмечена интенсивная магнитная аномалия, вызванная железистыми кварцитами средней свиты.

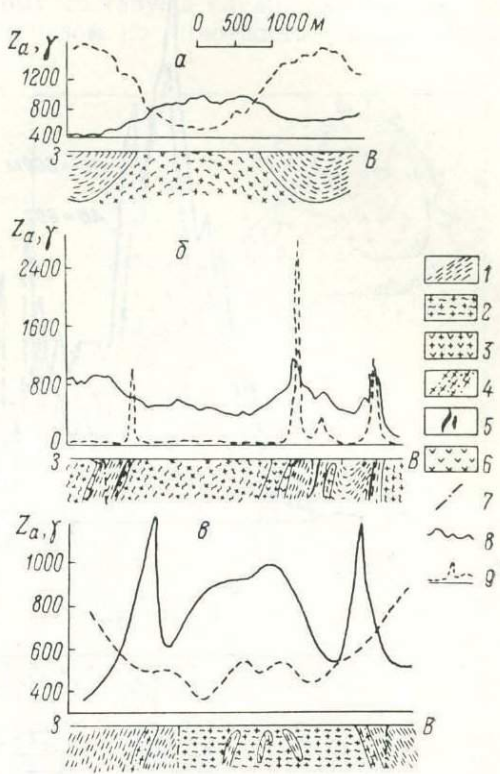


Рис. 35. Расчленение глубоко метаморфизованных пород купольных структур Западно-Ингулецкой зоны по геофизическим данным (по З. А. Крутиховской, Е. П. Купчинскому и др., 1966 г.).

1 — гнейсы и сланцы различного состава, кварциты белые, безрудные; 2 — граниты и мигматиты; 3 — гибридные породы; 4 — гнейсы пироксеновые и пироксен-биотитовые с магнетитом; 5 — кварциты амфибол-магнетитовые; 6 — амфиболиты и биотит-амфиболовые гнейсы; 7 — разрывные нарушения; 8 — графики Z_a ; 9 — графики остаточных аномалий $\delta\Delta g$.

С помощью гравиразведки и магниторазведки удается расчленить разрезы, представленные глубоко метаморфизованными образованиями. В частности, эти образования удалось расчленить в Западно-Ингулецкой зоне Украинского кристаллического щита. Разрезы сложены главным образом гранитами и мигматитами, слагающими центральные части куполообразных структур, и различными гнейсами, амфиболитами и амфибол-магнетитовыми кварцитами, расположенными в периферийных частях структур. Породы метаморфического комплекса плохо обнажены и перекрыты позднейшими рыхлыми отложениями мощностью в несколько десятков метров. Результаты интерпретации геофизических данных приведены на рис. 35 [219, 224].

На одном из участков (см. рис. 35, а) гранитоидам и мигматитам соответствуют пониженные значения гравитационного поля и относительно высокие значения (до 1000 γ) магнитного поля. Обратная картина наблюдается над гнейсами. Контакт между отмеченными комплексами пород достаточно точно устанавливается по точке перегиба кривых $\delta\Delta g$ и Z_a . На других двух участках (см. рис. 35, б, в) контакт между этими же комплексами устанавливается по четким гравитационным и магнитным аномалиям, соответствующим амфибол-магнетитовым кварцитам, амфиболитам или горизонтам магнетитосодержащих сланцев, залегающих в приконтактной зоне.

При благоприятных условиях для расчленения метаморфических образований можно привлечь комплекс более дешевых геофизических методов электропрофилирования и магниторазведки. Этот комплекс с успехом применялся на Балтийском щите [98, 271], (Г. А. Поротова и др., 1968 г.). Пример расчленения метаморфической толщи, пред-

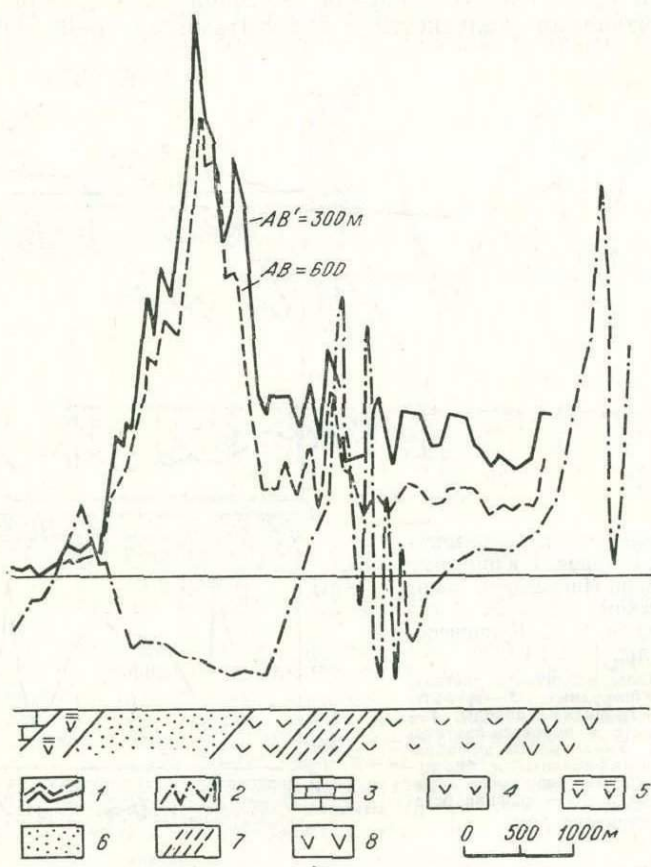


Рис. 36. Расчленение осадочно-эффузивных образований имандра-варзугской серии с помощью магниторазведки и электропрофилирования (по Г. А. Поротовой, 1968 г.).

1 — графики ρ_{Σ} ; 2 — графики ΔZ ; 3 — метаморфизованные доломиты и доломитизированные известняки; 4 — метадиабазы, метамандельштейны; 5 — зеленые сланцы по метадиабазам; 6 — туфы и туффиты; 7 — метадиабазы с прослоями туфов, туфобрекчий и туффитов; 8 — метадиабазы и метамандельштейны (магнитные).

ставленной первично-осадочно-эффузивными образованиями, приведен на рис. 36.

При оценке достоверности интерпретации геофизических материалов в сложных геологических условиях, какие имеют площади развития метаморфических образований, необходимо учитывать, что выделенные по геофизическим данным пласты часто являются неоднородными и содержат в себе разные по вещественному составу и физическим свойствам пропластки, линзы и т. п. Поэтому одиночные скважины, в ряде случаев вскрывающие лишь отдельные разновидности пород, естественно, не могут полностью охарактеризовать весь пласт, выделенный по геофизическим материалам. В таких случаях результаты бурения могут не соответствовать геофизическим данным. Достовер-

ные результаты можно получить путем совместного более углубленного анализа всех имеющихся на изучаемой площади геофизических и буровых данных.

ИЗУЧЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ МЕТАМОРФИЗМА

Породы, в разной степени метаморфизованные, часто отличаются друг от друга по минералогическому составу, а следовательно, и по физическим свойствам, главным образом по плотности, намагниченности и естественной радиоактивности, т. е. по свойствам, наиболее тесно связанным с вещественным составом пород. Обычно метаморфические породы могут существенно отличаться по одному физическому свойству или по комплексу свойств, что создает благоприятные условия для постановки геофизических методов для выделения и оконтуривания изучаемых комплексов пород. Естественно, что в разной степени метаморфизованные породы могут быть выделены с помощью геофизических методов лишь при благоприятном сочетании физических свойств, размеров и глубин залегания изучаемых объектов.

Возможность использования геофизических методов при изучении процессов гранитизации покажем на примере исследований, проведенных в пределах Криворожско-Кременчугской структурно-фациальной зоны (Ю. З. Борзенко, А. С. Киселев, 1966 г.). На рассматриваемом участке процессам гранитизации подверглись амфиболиты, занимающие центральные части изучаемой площади. На первых стадиях метаморфизма образовались амфиболовые мигматиты. Конечные стадии представлены плагиоклазовыми мигматитами и гранитами.

Изучение физических свойств показало, что в результате гранитизации происходит существенное разуплотнение пород за счет уменьшения количества более плотных (амфиболов) и образования менее плотных (плагиоклаза, кварца) минералов. Амфиболиты, обладающие на участке работ наиболее высокой плотностью ($2,96 \text{ г/см}^3$), отличаются от амфиболовых мигматитов на $0,15$, от плагиоклазовых мигматитов и гранитов на $0,36 \text{ г/см}^3$. Приведенные соотношения плотностей оказались вполне благоприятными для оконтуривания пород, в разной степени метаморфизованных, с помощью гравиразведки, что хорошо видно на геологической схеме (рис. 37), составленной с привлечением геофизических данных. Плагиоклазовые мигматиты и граниты развиты в пределах нормального гравитационного поля. Амфиболовым мигматитам соответствуют аномальные значения гравитационного поля. Ам-

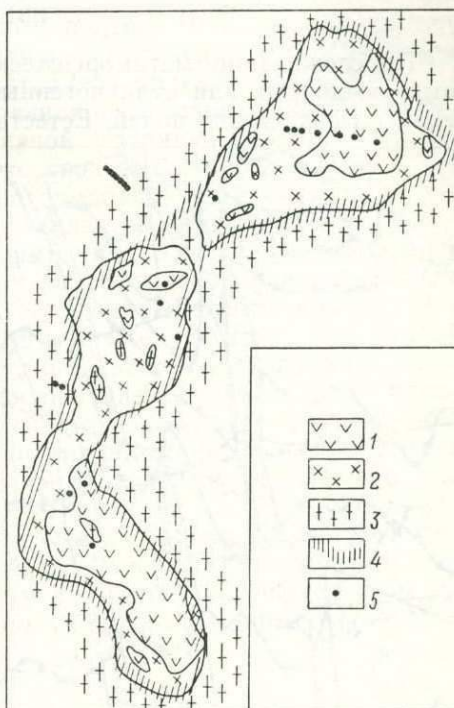


Рис. 37. Характер гравитационного поля над гранитизированными породами (по Ю. З. Борзенко и др., 1966 г.).

1 — амфиболиты; 2 — амфиболовые мигматиты; 3 — плагиоклазовые мигматиты и граниты; 4 — зоны больших градиентов Δg ; 5 — скважины.

фиболитам отвечают максимальные значения поля. Граница между плагиоклазовыми и амфиболовыми мигматитами четко устанавливается зоной больших градиентов гравитационного поля.

На Украинском кристаллическом массиве показана также возможность использования геофизических методов для изучения зон щелочного метасоматоза в гранитных массивах, основанная на некотором повышении намагниченности пород в результате их рибекитизации [253, 271].

ПРОСЛЕЖИВАНИЕ ПО ПРОСТИРАНИЮ ВЫДЕЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОРОД И ИЗУЧЕНИЕ ПЛИКАТИВНЫХ СТРУКТУР

Прослеживание метаморфических образований по простиранию, как и осадочных или вулканогенных пород, производится путем корреляции геофизических полей. Естественно, эта задача может быть решена лишь в тех случаях,

когда прослеживаемые комплексы пород выражаются в геофизических полях по серии маршрутов. Наиболее хорошие результаты достигаются при наличии в разрезе отчетливых маркирующих горизонтов, характеризующихся специфическими геофизическими аномалиями и существенно облегчающих сопоставление геофизических полей, полученных по разным маршрутам.

Однако необходимо иметь в виду, что по сравнению с осадочными или вулканогенными породами метаморфические образования обычно характеризуются значительно более сложным геологическим строением. Геофизические аномалии часто с трудом прослеживаются по простиранию, затухая или изменяя свою интенсивность и форму, что существенно осложняет их корреляцию. Поэтому прослеживание комплексов метаморфических пород по простиранию является задачей весьма сложной и требует большой

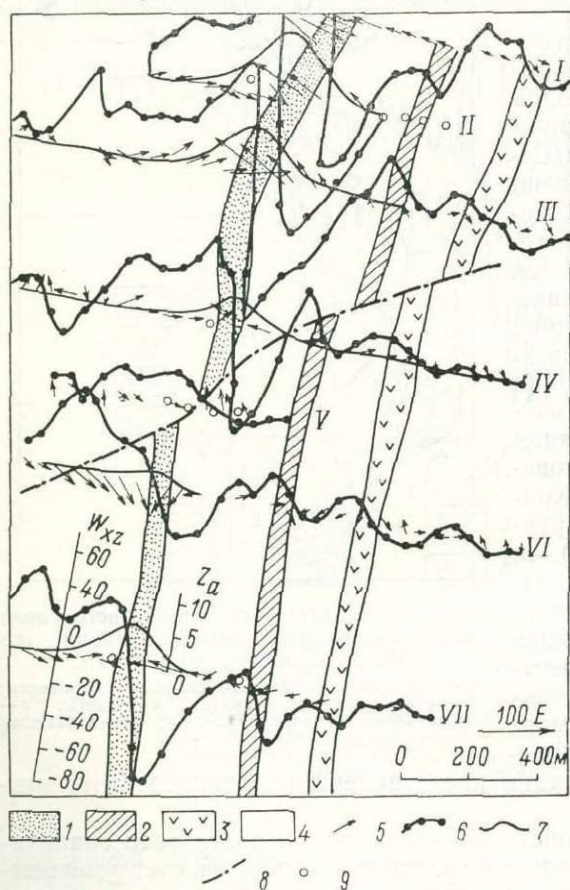


Рис. 38. Пример построения пластовой карты (по К. В. Климовой).

1 — железистые кварциты; 2 — различные гнейсы; 3 — метадиабазы; 4 — сланцы; 5 — векторы горизонтального градиента силы тяжести; 6 — кривая горизонтального градиента силы тяжести; 7 — кривая Z_a , $10^3 \gamma$; 8 — предполагаемая линия разлома; 9 — скважины.

тщательности в обработке и интерпретации геофизических данных и максимального привлечения всех имеющихся геологических данных. Обычно при относительно простом геологическом строении участка прослеживание комплексов можно производить с привлечением гравираз-

ведки, магниторазведки или электроразведки. Чаще для достижения решения поставленной задачи целесообразно прибегать к комплексной интерпретации данных нескольких геофизических методов, например гравиразведки и магниторазведки или магниторазведки и электроразведки и т. д.

В результате корреляции геофизических полей должны быть построены структурно-корреляционные схемы и пластовые карты. Пример построения пластовой карты для участка развития метаморфических образований показан на рис. 38 (З. А. Крутиховская, Г. К. Кужелов, 1960 г.). Маркирующим горизонтом здесь является пласт железистых кварцитов, который резко отличается от вмещающих пород по намагнитченности и плотности. Данный пласт прослежен по четким аномалиям гравитационного и магнитного полей. Наличие маркирующего горизонта позволило также выделить и проследить по простираанию пласты гнейсов разного состава, метадиабазов и сланцев.

Построенные структурно-корреляционные схемы могут быть использованы для изучения пликативной тектоники участка. Роль геофизических методов при этом обычно сводится к прослеживанию маркирующих горизонтов, установлению замковой части складки и определению направления и угла падения пластов. При простом залегании структур, располагая этими данными, можно выделить синклиналильные или антиклиналильные складки. При более сложном залегании (наличие изоклинальных и веерообразных складок) геофизическими методами устанавливается лишь плановое положение структур. Для установления типа складки требуется ряд специальных геологических наблюдений. При благоприятном соотношении физических свойств пликативные структуры могут непосредственно отображаться в геофизических полях. Так, если более древние породы обладают большей плотностью, чем молодые, то над антиклинальной складкой будет отмечено повышение напряженности гравитационного поля, а над синклиальной — ее понижение. Естественно, что геофизические аномалии могут быть вызваны как пликативной тектоникой, так и другими элементами геологического строения участка. Поэтому для более однозначного выделения пликативных структур необходимо учитывать данные геологических наблюдений.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

Величина содержания урана, тория и калия в метаморфических породах определяется прежде всего первичным литологическим составом геологических образований, вовлеченных в различные стадии метаморфизма. Например, такие породы, как кварциты, амфиболиты, мраморы, как правило, отличаются минимальными содержаниями урана, тория и калия. В меланократовых породах типа гнейсов, амфиболитов, диопсидовых и других кристаллических сланцев в целом намечается относительно повышенное содержание урана, чем в плагиогнейсах, гранулитах и подобных породах, для которых более характерно преобладающее содержание тория и калия. Концентрация урана и тория в метаморфических породах в значительной степени зависит от фаций метаморфизма и степени ультраметаморфизма. Общей тенденцией при этом является закономерное уменьшение содержания урана и тория с повышением степени регионального метаморфизма.

С повышением степени ультраметаморфизма, как правило, увеличивается потеря урана и тория первичными метаморфическими образованиями, что в конечном счете приводит к повышению концентрации радиоактивных элементов в зонах гранитизации. Пути миграции урана, тория и калия при процессах регионального метаморфизма несколько

различны. Это обстоятельство приводит к некоторому разобщению в пространстве ореолов урана, тория и калия. Как видно на рис. 39, для зон мигматизации и гранитизации весьма характерна приуроченность повышенных содержаний тория и калия к центральным частям этих зон. Краевые части зон характеризуются повышением содержаний урана на фоне низких значений тория и калия.

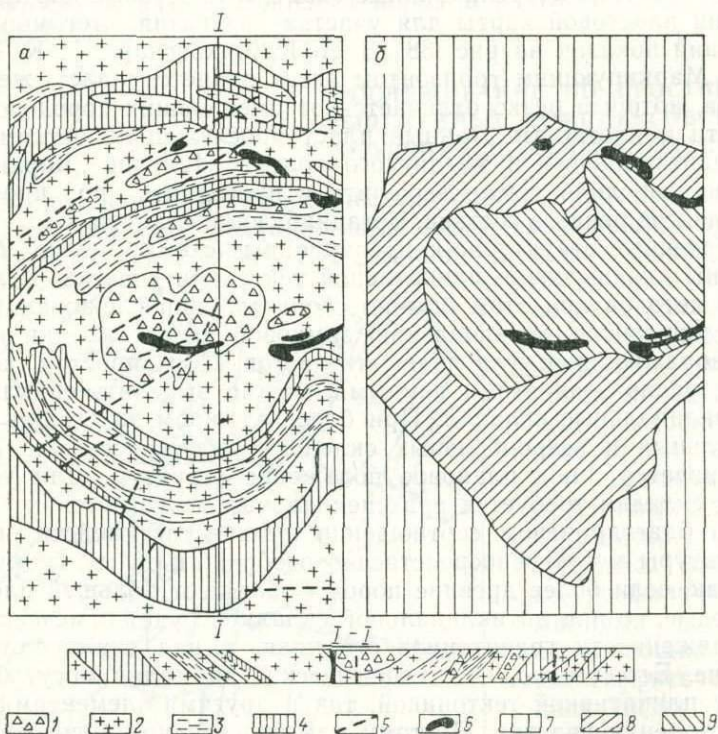


Рис. 39. Пример концентрически зонального расположения полей содержания урана (радия), тория и калия в пределах брахисинклинальной структуры.

а — геологическая карта; б — схема зонального расположения аэрогеофизических полей.

1 — брекчированные породы; 2 — гранитоиды; 3 — диопсидовые гнейсы; 4 — амфиболовые гнейсы, амфиболиты; 5 — тектонические нарушения; 6 — аномалии с низкими значениями торий-уранового отношения; 7 — область со средними содержаниями урана, тория и калия; 8 — зона с повышенными содержаниями урана, тория и среднего содержания калия; 9 — зона с повышенными содержаниями калия, тория и отдельными аномалиями урана.

Приведенные основные закономерности распределения радиоактивных элементов в метаморфических образованиях являются основой для успешного использования гамма-спектрометрического метода при решении ряда основных задач, стоящих перед крупномасштабными геологическими съемками: расчленения метаморфических образований на различные петрографические разновидности пород, изучения характера и степени метаморфизма и т. д.

ИЗУЧЕНИЕ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ

Геофизические методы используются для выделения и прослеживания разрывных нарушений, определения амплитуды смещения блоков и углов падения плоскости разрыва, а в комплексе с другими методами применяются для установления вида минерализации зон разрывов, определения их рудоносности и состава пород, заполняющих трещи-

ны. Эффективность отдельного геофизического метода или комплекса методов зависит от типа разрывного нарушения, дифференциации физических свойств, мощности перекрывающих образований и ряда других условий.

Как признак наличия крупных разрывных нарушений, широко используемый при интерпретации материалов аэромагнитных и гравиметровых съемок, является граница сочленения полей различного характера. Эти различия проявляются тем четче, чем больше отличаются по геологическому строению контактирующие по разлому блоки. Поэтому по данному признаку выделяют зоны разломов между разнородными тектоническими структурами.

Различия в физическом поле по обе стороны от разлома могут выражаться в насыщенности, распределении и простирации аномалий и в интенсивности поля в целом. В гравиразведке наиболее явным признаком разлома является так называемая «гравитационная ступень», т. е. сочленение поля силы тяжести различной интенсивности. В ряде случаев «гравитационная ступень» может быть завуалирована полями силы тяжести более высокого порядка. Для ее выявления целесообразно проводить трансформацию поля.

Разломы, приводящие к изменению глубин залегания маркирующих горизонтов (например, поверхность складчатого комплекса образований в районах двух- и трехъярусного строения), могут выделяться в поле силы тяжести аномалиями типа «гравитационной ступени». Величина ее пропорциональна относительной амплитуде сброса. Методами количественной интерпретации, в частности с помощью палеток (А. А. Духовский, Е. И. Кронидов, С. Ю. Золотов, 1973 г.), можно определить параметры и глубину его залегания. Такого же типа разломы могут быть выявлены методами сейсморазведки или электроразведки, в частности методом вертикального зондирования. Признаком разлома в этом случае является резкое изменение глубины залегания маркирующего горизонта, которое не может быть объяснено пликативными структурами. По сейсмическим данным в районах двух- и трехъярусного строения разрывы могут быть установлены также по нарушению корреляции волн.

Если на эрозионном срезе разрывное нарушение приводит к смещению геологических тел, отличных по физическим свойствам от вмещающих пород, то признаком разлома является нарушение корреляции аномалии. Наиболее благоприятными случаями являются те, когда разрывное нарушение сечет линейно вытянутые тела вкрест их простирации.

Нарушение корреляции аномалии зависит от относительного размера смещения геологических тел и выражается или в уменьшении интенсивности, или в искривлении оси, или полным разрывом аномалии. На рис. 38 приведен пример выделения разлома по нарушению корреляции аномалии W_{xz} . В зависимости от вида различий физических свойств маркирующих тел и вмещающих пород такие разрывные нарушения могут быть выделены кроме вариометрического метода электроразведочным, гравиразведочным, радиометрическим и магниторазведочным.

Разрывные нарушения, выполненные новообразованиями или представляющие собой зоны дробления, в той или иной степени минерализованные, могут быть выявлены геофизическими методами, если в пределах их происходит изменение физических свойств. Трещины, выполненные магматическими образованиями основного и ультраосновного состава, и реже зоны дробления могут быть выявлены при магниторазведочной съемке, а крупные — даже при аэромагнитной. В первом случае разрывы выделяются линейными аномалиями, как правило по-

ложительного знака, во втором — линейными зонами пониженного поля.

В большинстве случаев геофизические методы применяются для прослеживания под четвертичными образованиями разрывных нарушений, представленных зонами дробления и минерализации, от места, где они закартированы геологами, или на тех участках, где их наличие

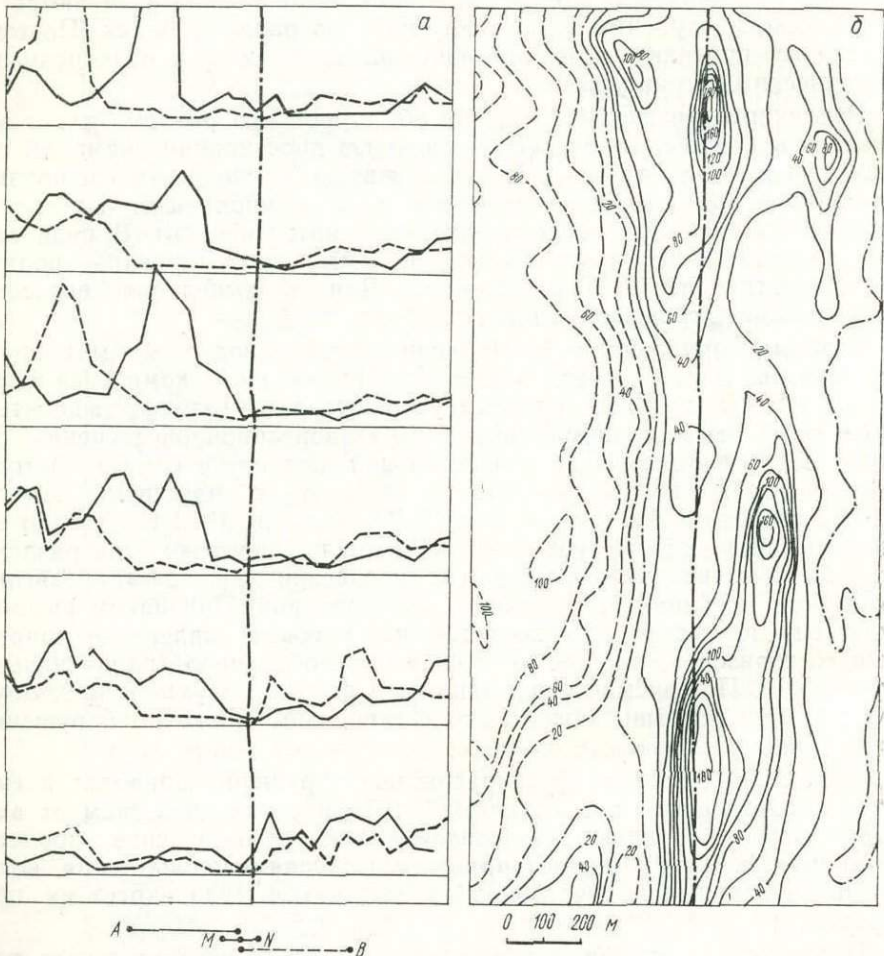


Рис. 40. Картирование разрывного нарушения и определение мест скопления сульфидной минерализации вдоль его простирания (по Т. И. Багишовой, А. А. Борцовой).

а — план графиков ρ_k метода комбинированного профилирования; б — план изолиний естественного электрического поля (мв).

предполагается. Таким образом, геофизик располагает теми или иными сведениями о нарушениях, на основании которых выбирает геофизический метод или методы и обосновывает методику производства работ.

При выявлении и прослеживании данных разрывных нарушений широко используются методы электроразведки. Если разрыв представляет собой электропроводящую зону, которой может быть или обводненная зона дробления, или зона с повышенной сульфидной минерализацией, хорошие результаты дает метод комбинированного или дипольного профилирования, а при значительной мощности этой зоны — метод симметричного профилирования. Зоны окварцевания, карбонити-

зации и другие, обладающие высокими значениями сопротивления, хорошо выявляются при незначительной мощности методом срединного градиента, при большой мощности практически применим любой метод электропрофилирования.

Многие зоны дробления пород выделяются повышенными концентрациями радона в почвенном воздухе. Глубинность эманационного метода в основном определяется скоростью диффузии радона в перекрывающих зону нарушения отложениях и измеряется в среднем несколькими метрами.

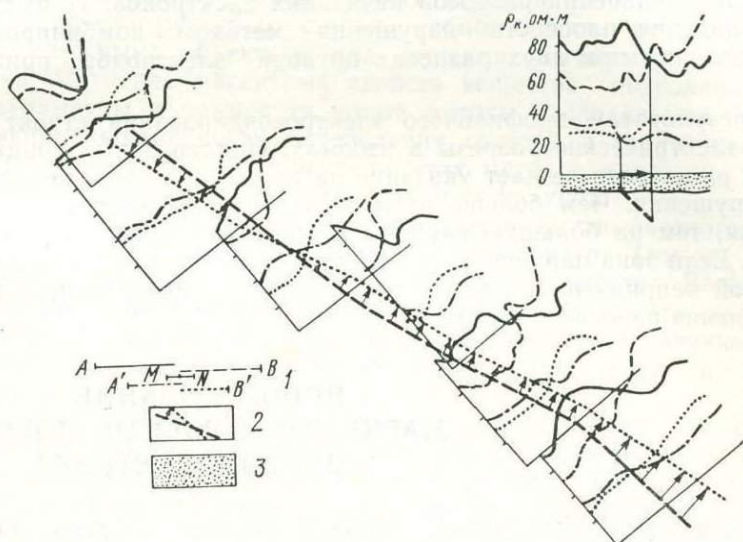


Рис. 41. Прослеживание и определение элементов залегания разрывного нарушения методом комбинированного электропрофилирования на двух разносах (по Ю. Г. Герасимову, В. К. Найчуку, 1963 г.). 1 — схема установки комбинированного профилирования; 2 — плановое положение центра проводящей зоны на двух глубинах, соответствующих измерениям на двух разносах, и направление ее падения (см. разрез); 3 — рыхлые образования.

В ряде случаев геофизические исследования должны проводиться на ранее выявленных разрывных нарушениях для решения круга задач, возникающих при геологических съемках и поисках полезных ископаемых. Например, определение падения плоскости разрыва, выяснение степени минерализации (обычно сульфидной) и т. п. Выбор метода определяется исходя из задачи, стоящей перед геофизиками.

В качестве примера на рис. 40 представлены результаты геофизических работ, ставящихся с целью выявления зоны нарушения и затем определения в пределах выявленной зоны мест концентрации сульфидной минерализации. Для решения первой задачи был выбран метод комбинированного профилирования, так как ожидалось, что зона дробления обладает пониженной электропроводностью. Ось нарушения отмечилась характерным для проводящих тел пересечением кривых ρ_k , кроме того, оказалось, что образования, контактирующие по разрывному нарушению, обладают различными сопротивлениями (см. рис. 40, а). Для решения второй задачи — определения в пределах зоны мест концентрации сульфидной минерализации — был выбран метод естественного поля. Наблюдения проводились по тем же профилям, что и при методе комбинированного профилирования. Выявление аномалии электрического потенциала ΔU указывает на наиболее обогащенные места сульфидной минерализации вдоль зоны разрывного нарушения (см. рис. 40, б).

Одной из задач, часто решаемых с помощью методов геофизики, является определение направления падения плоскости разрыва. Эта задача решается при сохранении контрастных различий физических свойств пород зоны нарушения и вмещающих образований на глубине. Если зона нарушения отличается по сопротивлению пород от вмещающих образований, то для определения ее падения применяются методы электропрофилеирования, проведенные с различными размерами установок, или электротондирования по профилям вкост простирания нарушения. При профилеировании падение плоскости разрыва определяется по направлению и значению смещения характерных точек кривых ρ_k при увеличении разносов питающих электродов. Пример определения падения плоскости нарушения методом комбинированного профилеирования при двух разносах питания электродов приводится на рис. 41.

По результатам профильного электротондирования строят вертикальные электрические разрезы в изомахах. Наклон зоны пониженных значений ρ_k на разрезе дает указание на примерное положение плоскости нарушения. Чем больше разносы установки электрического зондирования, тем на большую глубину можно проследить разрывное нарушение. Если зона нарушения выделяется в магнитном поле, то характер кривой напряженности также может дать представление о направлении падения плоскости разрыва.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНЕТИЗМА ГОРНЫХ ПОРОД И ПАЛЕОМАГНЕТИЗМА

Явления магнетизма горных пород изучаются в магниторазведке, петрофизике и палеомагнитологии. Используемые при этом многообразные магнитные свойства и характеристики зависят от конечного числа геологических факторов: а) состава зерен ферромагнитных минералов (главным образом титаномагнетитового и гематитового рядов твердых растворов и пирротинов); б) структурно-текстурных особенностей этих зерен, их формы, размеров, характера распределения в породе; в) концентрации ферромагнитных включений; г) испытанных ферромагнитными минералами данного состава, структуры и концентрации (в составе породы) внешних геолого-физических воздействий.

Связь магнитных свойств горных пород с первыми тремя из указанных факторов хорошо изучена — вплоть до получения функциональных зависимостей. Однако воздействия температуры, времени, магнитных полей и механические, даже в том случае, когда они не влияют на состав и структуру ферромагнетика, приводят к изменениям его магнитного (энергетического) состояния и соответствующих магнитных характеристик этого состояния.

Использование магнетизма горных пород предполагает решение задач обратного типа, когда по известным магнитным характеристикам должны быть определены обуславливающие их состав, структура, концентрация ферромагнитных включений или некоторые физические воздействия, испытанные горными породами в течение их геологической истории. Естественно, что многие из этих задач необходимо решать в процессе геологической съемки, поскольку перечисленные факторы оказываются связанными с рядом геологических условий образования пород (термодинамический режим, скорость охлаждения, окислительно-восстановительные условия, магнитные поля и др.), их последующими изменениями, развитием геологических структур и т. д.

Эти соображения лежат в основе использования любых методов магнетизма горных пород. Возможности такого использования, как следует из изложенного, не контролируются типом горных пород и мало зависят от концентрации ферромагнетика.

МАГНИТНАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МИНЕРАЛОВ

Ферромагнитные минералы горных пород в отношении их химического состава, структуры, степени гомогенности часто являются довольно сложными объектами для изучения обычными методами минералогии. Изучение магнитных свойств вещества позволяет ввести новые параметры и применить новые методы исследования, зачастую расширяющие возможности определения состава и структуры ферромагнитных минералов. Достоинством этих методов является то, что они не требуют выделения мономинеральных фракций.

Одной из основных магнитных характеристик химического состава ферромагнитных минералов является их температура (точка) Кюри — устойчивая физическая постоянная для данного вещества. Ее определение проводится по кривым зависимости намагниченности насыщения от температуры, по спектрам парциальных тремонамагниченностей, по зависимости магнитной восприимчивости от температуры и другими методами.

Чувствительность и разрешающая способность этих исследований позволили некоторым авторам утверждать их применимость для прямого предварительного расчленения горных пород без проведения химического и петрографического анализов. Это справедливо в тех случаях, когда между теми или иными факторами геологической истории пород и составом ферромагнетика существует достаточно тесная связь. Можно указать, например, на результаты изучения распределения температуры Кюри T_c в лавах Этны в пределах нескольких молодых массивов. Для центральных частей массивов кривые терморазмагничивания показывают присутствие в породах лишь титаномагнетита. По мере удаления от центра к краевым частям наблюдается изменение формы кривых, соответствующее замещению титаномагнетита магнетитом, затем — появлению мартита. Полученные данные, на основании которых авторы приходят к выводу о возможности «терромагнитного выделения» зон окисления базальтовых лав, были подтверждены путем оптического изучения шлифов.

Возможность обнаружения процессов распада и окисления первичного титаномагнетита по точке Кюри отмечается в работе О. А. Алыповой (1969 г.), в которой терромагнитный анализ служит методом обнаружения связи между фазовым составом ферромагнитной фракции и скоростью охлаждения основных пород Камчатки.

Тщательное исследование ферромагнитных минералов базальтов разных типов терромагнитными и оптическими методами приводит авторов работы (А. М. Глевасская и др., 1970 г.) к выводу о высокой информативности спектров T_c в отношении сложного, варьирующего состава этих минералов. По-видимому, терромагнитные исследования позволяют в данном случае с большой уверенностью выявлять геологические условия образования базальтов и их изменения (характер извержений, скорость остывания, отсутствие или наличие позднемагматического метасоматоза и др.).

В последние годы для целей магнитной диагностики используются новые магнитные характеристики — так называемые параметры коэрцитивных спектров (КС) — γ_0 и Δ_m . По определению

$$\gamma_0 = 10^3 \frac{1}{I_i} \cdot \frac{d^2 I_r}{dH^2}; \quad \Delta_m = 10 \frac{1}{I_i} \left(\frac{dI_r}{dH} \right)_{\max},$$

где I_i — индуцированная намагниченность, а прочие величины и способ их вычисления иллюстрируются на рис. 42. Эти параметры не зависят от концентрации ферромагнетика, определяются лишь особенностями его состава и структуры и поэтому могут быть использованы для разделения горных пород (выделение комплексов, фаз, фаций) по составу и структуре ферромагнитных включений для идентификации ферромагнетика в различных породах, для установления геологически направленных его изменений (связанных, например, с изучением контактовых ореолов и метаморфизма пород), а иногда и для точной диагностики.

Так, при наличии направленных изменений магнитной восприимчивости пород параметры γ_0 и Δ_m могут дать ответ на вопрос о том,

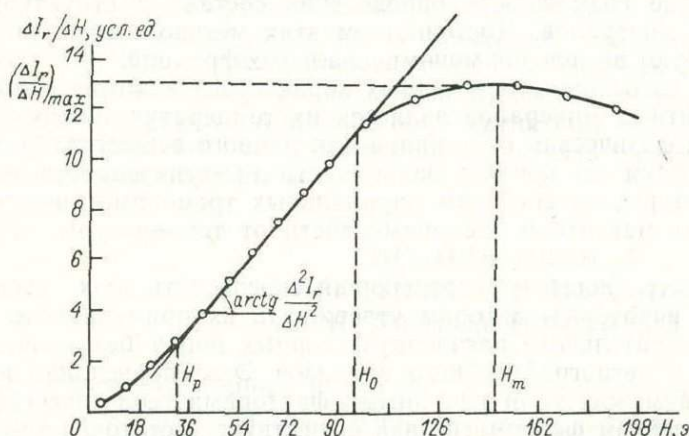


Рис. 42. К определению параметров коэрцитивного спектра — дифференциальной формы кривой зависимости остаточной намагниченности I_r от намагничивающего поля H .

с чем связаны эти изменения: с влиянием концентрации ферромагнетика или с изменениями его состава. На рис. 43, а представлены усредненные по интервалам R значения χ и γ_0 липаритовых порфиров (R — расстояние от контакта этих пород с интрузивным телом гранодиоритов). Очевидно, что возрастание χ липаритов в 10 раз по мере приближения к контакту не может рассматриваться как простое увеличение концентрации ферромагнетика. Спад значений γ_0 почти в 4 раза, до уровня, характеризующего и интрузивное тело в целом, свидетельствует об изменении его состава, причем, по-видимому, связанном именно с комплексным физико-химическим воздействием интрузивного тела. Рис. 43, б иллюстрирует случай другого рода, когда наблюдаемые в контактовой зоне изменения χ практически могут быть связаны лишь с уменьшением содержания ферромагнетика титаномagnetитового ряда: при изменении χ почти на порядок параметр Δ_m испытывает лишь незначительные колебания.

Этот же метод магнитной диагностики был использован при изучении гранитного массива Акчатау (Центральный Казахстан) применительно к оценке мощности зоны выветривания и глубины эрозивного среза. При изучении образцов гранитов, отобранных из естественных обнажений и из скважин, было установлено, что параметр γ_0 уменьшается как при увеличении степени выветривания образцов, так и по мере приближения точки их отбора к контактовой поверхности интрузива. В последнем случае уменьшается и параметр Δ_m .

Однако его значение в результате действия процессов выветривания, напротив, резко возрастает (рис. 44). Среднюю мощность зоны выветривания и зоны эндоконтакта по признаку заметных изменений параметров КС можно оценить соответственно в 50 и 100 м. Эти закономерности поведения параметров КС позволяют говорить о возможности определения глубины эрозионного среза гранитов, выходящих на поверхность, на основе наблюдений за изменением этих параметров по скважине.

Соотношение между параметрами КС образцов, определяемое их положением в зоне эндоконтакта, сохраняется при наложении процессов выветривания (мартитизация и магнетитизация магнетита). Это дает возможность путем изучения параметров КС по площади выхода гранитов на поверхность (в предположении статистически одной и той же степени выветрелости пород) оценить относительную глубину эрозионного среза в разных частях этой площади (см. рис. 44).

Все большее применение в геологической съемке находят параметры магнитной анизотропии горных пород, которые чаще всего связаны с упорядочением распределения длинных осей магнитных кристаллитов или со слоистостью пород. Главная при-

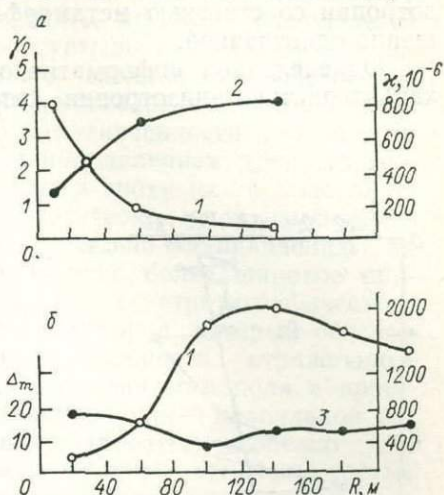


Рис. 43. Зависимость магнитной восприимчивости (1) и параметров γ_0 (2) и Δ_m (3) от расстояния до контакта с гранитной интрузией в липаритовых порфирах (а) и в андезитовых порфиритах (б).

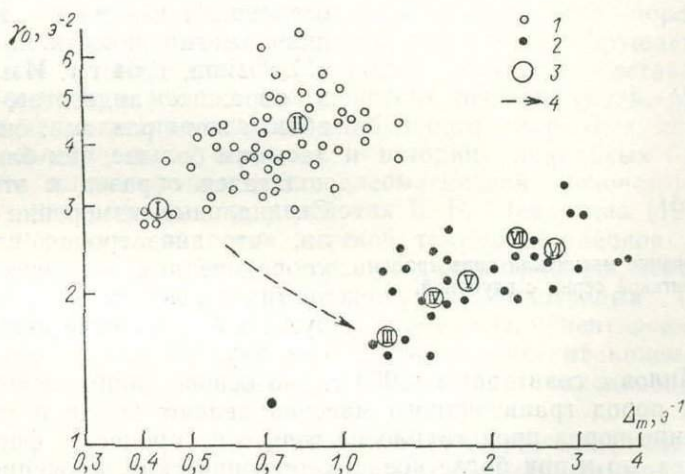


Рис. 44. Корреляционная диаграмма параметров КС гранитов массива Акчатау.

1 — образцы керна скважин, взятые за пределами зоны выветривания; 2 — образцы из естественных обнажений; 3 — осредненные по группам образцов значения параметров. I — из зоны эндоконтакта (0–40 м), II — из удаленных участков от эндоконтакта более чем на 100 м, III–VII — уровни эрозионного среза, м: III — 0–25, IV — 0–50, V — 50–75, VI — 75–100, VII — 100–125; 4 — направление изменения параметров КС при выветривании.

чина возникновения магнитной анизотропии — направленное давление в период кристаллизации (перекристаллизации) ферромагнетика. На рис. 45 приведены данные измерений анизотропии остаточной намагни-

ченности метаморфических пород, отчетливо показывающие возрастание анизотропии с глубиной залегания, т. е., вероятно, с увеличением испытанного при метаморфизме давления. Однако связь магнитной анизотропии со степенью метаморфизма пород не всегда является совершенно однозначной.

Определенной информативностью обладают и пространственные характеристики анизотропии. Авторы работы (Н. Logwerth, 1967 г.) связывают отклонение направления

минимума восприимчивости слоистых песчаников от палеовертикали с палеонаклоном дна изучаемого угольного бассейна. При этом одно из двух направлений κ_{\max} согласуется с азимутом древнего склона, другое может быть объяснено палеотечениями. В работе Ф. Янека (1970 г.) на основании совпадения осей κ_{\min} и κ_{\max} с характерными тектоническими направлениями в массиве амфиболитов делается вывод об одновременном формировании «внутреннего строения» ферромагнитных и породообразующих минералов. Напротив, несовпадение κ_{\max} ни с одним из указанных направлений в породах другого массива автор считает признаком более позднего обогащения его магнетитом. В другом исследовании изучалась анизотропия намагниченности насыщения (М. Ozima, 1964 г.). Измеренная в образцах андезитов, взятых вблизи зоны разлома, она оказалась тем больше, чем ближе располагался образец к этой зоне. Специальные измерения показали, что анизотропия связана с упорядочением расположения частиц магнетита и может обнаружить направление движений по разлому.

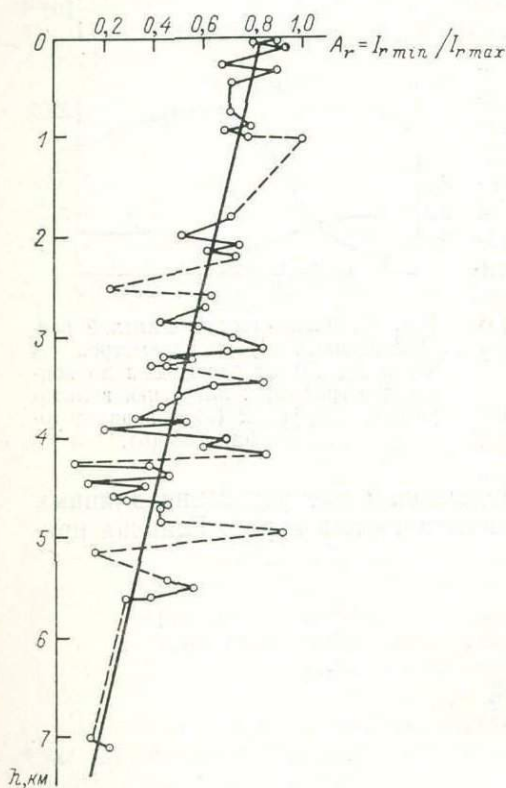


Рис. 45. Увеличение магнитной анизотропии пород печенгской серии с глубиной.

А. П. Милов с соавторами (1964 г.) на основе данных о магнитной анизотропии пород гранитоидного массива делают вывод о том, что расщепление пород происходило не только в процессе формирования интрузива, но и при более поздних тектонических движениях. Изучение магнитной анизотропии вполне приложимо и к задаче определения фаций магматических пород, поскольку, например, в центральных частях интрузий кристаллизация ферромагнетика идет в условиях гидростатического давления, тогда как в краевых частях давление приобретает направленный характер. Применение метода изучения анизотропии в рудных районах (А. А. Прияткин, 1974 г.) показало возможность выявления зон повышенной проницаемости во внешние изотропных вулканитах, вмещающих рудные тела, благодаря тому, что эти зоны одновременно являются зонами максимального растяжения.

Многие горные породы имеют весьма стабильную компоненту естественной остаточной намагниченности I_n , которая разрушается практически лишь при повышении температуры до T_C , а также в породах древнее палеогеновых, по направлению заметно отличается от современного геомагнитного поля. Данные многолетних исследований позволяют связывать возникновение этой намагниченности с условиями образования пород, а ее направление — с направлением древнего геомагнитного поля, действовавшего на породы в эпоху их образования. Поскольку это направление в течение геологических эпох изменялось, возникает возможность оценки возраста пород по направлению их стабильной остаточной намагниченности. Однако более широкое применение находит другой палеомагнитный метод стратиграфического расчленения и возрастной корреляции горных пород, который основан на существовании прямой и обратной намагниченности, отражающей резкие изменения полярности (инверсии) геомагнитного поля в прошлом. Основная трудность при подобной корреляции — правильное сопоставление зон с одинаковой магнитной полярностью, особенно для отложения тех геологических периодов, в которых отмечены частые инверсии. Поэтому палеомагнитный метод должен использоваться в комплексе с палеонтологическими и изотопными методами определения возраста.

Изучение пространственного распределения направлений древней остаточной намагниченности показывает, что в пределах определенного района, во всех точках которого геомагнитное поле можно считать приблизительно одинаковым, для одновозрастных пород эти направления практически совпадают. Однако если в результате тектонической деятельности происходят разнонаправленные изменения первоначального залегания геологических тел, смятие осадочных толщ в складки или другие нарушения пространственной ориентировки пород, то соответственно меняется и ориентировка вектора I_n , нарушается ее согласованность в одновозрастных породах. Этот факт составляет основу палеомагнитного метода тектонических реконструкций. Метод используется как в исследованиях глобального масштаба, так и при изучении геологического строения и истории локальных площадей.

Широко использован метод палеомагнитной реконструкции локальных структур, например, в работах Е. В. Шевлягина (1974 г.) при решении конкретных вопросов местной тектоники районов Донбасса и Северного Кавказа. Автор успешно дешифрирует тектонические структуры при геологическом картировании монотонных (фаунистически немых) образований, получает элементы ориентировки структурных поверхностей стратиформных толщ, проводит кинематическую реконструкцию процесса изгиба пластов при складкообразовании.

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МИНЕРАЛОВ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

При нагреве горной породы до температуры T ниже точки Кюри T_C часть ее древней остаточной намагниченности разрушается и при последующем охлаждении заменяется новой, парциальной термоостаточной намагниченностью, направленной в общем случае по новому направлению геомагнитного поля. Подвергая образец этой породы последовательным нагревам до все более высоких температур, можно обнаружить постепенный поворот суммарной остаточной намагниченности I_n . Температура, при которой направление I_n стабилизируется,

будет соответствовать температуре природного процесса вторичного разогрева пород.

Таким образом может быть исследовано распределение этой температуры по площади в пределах экзоконтактных зон интрузивных тел или лавовых потоков и, следовательно, оценено общее «тепловое состояние» этих тел в период внедрения. Так, например, К. Эверитт (1960 г.) провел разделение эффузивных и интрузивных базальтов по данным терморазмагничивания образцов экзоконтактных зон. Подобные исследования, использующие «память» горных пород о их вторичном нагреве, возможно применить и к изучению проблемы гранитизации, процессов регионального метаморфизма.

Многие геологические задачи могут решаться на основе весьма простого подразделения испытанных породами температур T на $T \geq T_c$ и $T < T_c$. Именно так в работе Ш. Арамаки и др. (1963 г.) было прове-

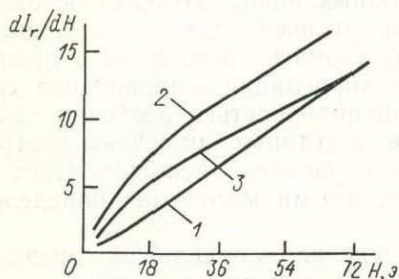


Рис. 46. Коэрцитивные спектры нулевого состояния (1) магнетитсодержащего образца ($T_c=580^\circ\text{C}$) и состояний, полученных охлаждением образца от температуры, равной 350°C (2) и 600°C (3).

дено разделение пирокластических отложений, позволившее отличить низкотемпературные грязевые потоки от пепловых отложений, сформировавшихся при высокой температуре. Обломки пород, содержащиеся в пеплах, показали стабильную термоостаточную намагниченность одинаковой во всех изученных образцах ориентации. Это означает, что намагниченность была приобретена уже в составе пепловых отложений и что температура образования последних превышала значение T_c ферромагнитных минералов обломков. Отложения грязевых потоков, напротив, имели большой разброс направлений I_n (вплоть до противоположных), что соответствует хаотической ориентации обломков, сохраняющих свою первичную намагниченность, т. е. не испытывавших нагрева до температур, близких к T_c .

В последние годы для оценки температуры, при которой произошло окончательное формирование ферромагнитного минерала данного химического и фазового состава (эта температура может быть существенно ниже температуры начала кристаллизации ферромагнетика), используется метод сопоставления коэрцитивных спектров пород в их естественном состоянии и в так называемом нулевом магнитном состоянии. (Последнее достигается под действием переменного поля, убывающего от большой амплитуды до нуля). На рис. 46 приведены типичные КС изверженных горных пород и руд, основным ферромагнитным компонентом которых является магнетит или титаномангнетит. Кривые рисунка соответствуют трем различным исходным состояниям одного и того же образца: нулевому (1), абсолютному (2) нулевому (температура образования ферромагнетика или его «обработки» равна или выше T_c) и парциальному (3) (температура, испытанная ферромагнетиком, ниже T_c , в приведенном примере — 350°C). Нулевое состояние легко воспроизводится в лабораторных условиях. Кривые довольно резко различаются, при этом кривые 1 и 2 имеют прямолинейные взаимно параллельные участки. Понятно поэтому, что сопоставление КС «естественного магнитного состояния» с КС нулевого состояния позволяет оценить температуру (в пределах от 20°C до T_c) формирования ферромагнетика, разделить по этому признаку различные

его генерации и т. п. В частности, метод был успешно опробован для оценки температуры кристаллизации магнетитов в рудах Сарбайского и Куржункульского месторождений.

ВЫЯСНЕНИЕ ВОЗРАСТНЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ ПОРОД

Основной объем магнитных исследований по оценке возраста горных пород связан с такой характеристикой, как направление естественной остаточной намагниченности (палеомагнетизм). При этом наиболее надежное определение возрастных взаимоотношений пород возможно по данным изучения контактовых зон. Эти зоны характеризуются тем, что в них наиболее ощутимым является результат воздействия одних пород на другие. Любой метод должен, во-первых, выявить следы этого воздействия и, во-вторых, доказать соответствие выявленных следов определенному отношению возрастов контактирующих пород. При этом один метод исследования может обнаружить изменения пород на больших, другой — на меньших расстояниях от контакта. Как показывает практика, магнитные методы в этом отношении обладают достаточной силой.

Рассмотрим данные магнитных исследований контакта гранитов массива Шетский Койтас (C_2) с диоритами (C_2) и граносиенитами байназарского ($C_3 - P_1$) комплекса. Массив Шетский Койтас сложен порфиroidными биотитовыми гранитами, условно относимыми к третьей фазе топарского (C_2) комплекса. На юге массива эти граниты контактируют с породами байназарского комплекса. Тело байназарских пород на данном участке представлено граносиенитами, содержащими блоки диоритов. Макро- и микроскопические взаимоотношения этих пород не ясны. С целью определения их возрастной последовательности на контакте биотитовых гранитов с граносиенитами и диоритами были отобраны образцы для магнитных исследований.

В соответствии с одним из вариантов геологических представлений изученные породы помещены в табл. 1 так, чтобы увеличение возраста шло в направлении сверху вниз. При этом зоны контакта гранитов с граносиенитами и диоритами рассматриваются раздельно.

Направление естественной остаточной намагниченности отличается неплохой однородностью в образцах граносиенитов и гранитов, однако в последних — лишь в контакте с диоритами, а в контакте с граносиенитами вектор I_n гранитов близок к современному геомагнитному полю. Значительный разброс направления намагниченности наблюдается в образцах диоритов. Все это соответствует наличию вторичных процессов намагничивания пород: гранитов — в зоне их контакта с граносиенитами (т. е. обусловленного внедрением граносиенитов), диоритов — в контакте с гранитами. Следовательно, можно предположить, что граниты имеют более молодой возраст, чем диориты, а граносиениты в свою очередь моложе гранитов. Это предположение согласуется и со следующими данными.

1. Магнитная чистка (т. е. разрушение вторичных компонентов намагниченности) мало изменила среднее направление вектора I_n граносиенитов и гранитов в зоне контакта с диоритами (зона закалки), сохранив его близким к «нормальному» направлению I_n изученных пород района. Магнитная чистка гранитов из зоны контакта с граносиенитами и диоритов обнаружила факт вторичности перемагничивания пород, наблюдаемого в исходном состоянии, несколько приблизила среднее направление их намагниченности к «нормальному», хотя и не смогла полностью уничтожить следы перемагничивания. Последнее не может означать вторичный нагрев до температуры, близкой к T_c , что соответствует малому (до 1 м) расстоянию изученных образцов от контакта.

Таблица 1

Направление вектора I_n горных пород в зоне контакта

Породы		Направление I_n , градусы			
		исходное		после чистки	
		D	J	D	J
Граносиениты		219	-25	200	-32
		213	-55	205	-44
		228	-64	200	-51
		210	-30	207	-39
Граниты	в зоне контакта с граносиенитами	348	13	340	-42
		355	38	331	-70
		290	68	145	-8
		322	36	230	-30
	в зоне контакта с диоритами	202	-40	200	-40
		200	-36	184	-28
		236	-12	235	-46
		270	70	228	-30
		118	-5	160	-76
Диориты		170	13	208	-11
		278	64	164	-20
		244	11	268	-45
		177	16	256	-31
		212	-13	112	-57

2. Те же диориты, изученные в обнажениях, удаленных от контакта, имеют среднее направление вектора I_n , характеризующееся азимутом $D=215^\circ$ и наклоном $J=-38^\circ$.

Установление возрастных взаимоотношений по комплексу магнитных характеристик возможно и при изучении пород, удаленных от зоны непосредственного их контакта, т. е. и в том случае, когда этот контакт не обнажается.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕТАМОРФИЗМА

К решению большинства задач, которые ставят перед собой геофизические методы при исследовании метаморфических образований, могут быть привлечены данные изучения магнетизма горных пород. Действительно, эти данные дают возможность расчленить метаморфические образования по составу ферромагнитных минералов, по их структурно-текстурным особенностям и тем самым помочь решению вопроса о степени, интенсивности и характере метаморфизма. В частности, по отобраным в зоне экзоконтакта интрузивов образцам изменения состава и структуры ферромагнитных минералов часто отражают контактовый ореол этих интрузивов и зоны измененных пород.

Л. Е. Шолпо и другие исследователи в 1976 г. предприняли попытку на основе изучения комплекса магнитных характеристик определить корреляционные признаки минералогически различающихся, но образованных в одинаковых термодинамо-химических условиях метаморфических пород, а также установить критерии для расчленения минералогически сходных (или даже идентичных) пород, образовавшихся по различному субстрату.

Комплекс пород ганальской серии, представляющий собой регионально метаморфизованную эффузивно-осадочную толщу, прорывается дифференцированной интрузией (Юрчикский массив). Как во вмещающих, так и в интрузивных породах отмечены зоны интенсивного динамотермального метаморфизма, продуктами которого являются гранат-биотитовые сланцы.

Перспективы изучения магнитных свойств пород вытекают из следующих положений.

1. Если в зонах динамотермального метаморфизма происходит интенсивное преобразование ферромагнитных минералов, можно ожидать появления некоторых характерных признаков у пород этих зон.

2. В породах зон динамотермального метаморфизма могут сохраняться некоторые «магнитные следы» исходного продукта, позволяющие отличать, например, аполитивные породы от пород, являющихся продуктами динамотермального метаморфизма ранее регионально метаморфизованной толщи.

Результаты изучения магнитных свойств пород в указанном аспекте представлены в табл. 2. Приводимые далее оценки состава ферромагнетика основаны на совокупности значений температуры Кюри T_C и параметров коэрцитивного спектра γ_0 и Δm , оценка температуры его образования — на параметре N_T и значений T_C , оценка степени текстурированности — на совокупности параметров анизотропии и KC . При этом по данным табл. 2 можно отметить следующее.

1. Амфиболовый диорит интрузивного массива содержит слабо окисленный магнетит, образованный при высокой температуре и обла-

Таблица 2

Изменение магнитных параметров в результате метаморфизма горных пород

Исходные породы	Переходные разности	Продукты динамотермального метаморфизма	$T_C, ^\circ C$	N_T	$\gamma_0, \text{э}^{-2}$	$\Delta m, \text{э}^{-1}$	A_T
Амфиболовый диорит Юрчикского массива	Рассланцованный биотитизированный амфиболовый диорит		580	0,29	2,4	3,6	0,83
			570	0,06	5,0	3,5	0,41
Амфиболовый сланец регионально метаморфизованной толщи		Гранат-биотитовый сланец	340	0,0	28	26	0,58
			570	0,0	2,3	2,1	0,22
Габбро-норит Юрчикского массива		Гиперстен-гранат-биотитовый гнейсосланец	340	0,05	90	70	0,67
Регионально метаморфизованная порода		Гранат-биотитовый сланец	290	0,16	200	120	0,32

дающий незначительной текстурой. Амфиболовый сланец регионально метаморфизованной толщи также содержит магнетит, однако явно вторичный, возникший при низкой температуре ($T = 150 \div 200^\circ \text{C}$), менее окисленный, но в значительной мере текстурированный или распределенный послойно, очевидно, в результате действия направленных давлений в период кристаллизации.

2. Все породы зоны динамотермального метаморфизма, из каких бы исходных пород они ни образовались, лишены магнетита и в незначительном количестве содержат пирротин. (Это было подтверждено при просмотре аншлифов). Температура образования пирротина не превышает, вероятно, $200\text{—}250^\circ \text{C}$, а степень текстурированности очень значительна. При заданной геометрии слоистости распределения ферромагнетика величина A_r зависит от его восприимчивости. Так, если некоторым параметрам слоистости магнетита ($\kappa = 1$) соответствует величина $A_r = 0,22$, то в случае пирротина ($\kappa = 0,1$) магнитная анизотропия той же слоистости существенно меньше ($A_r = 0,54$).

Переходные породы могут содержать оба ферромагнетика, и для них характерна частичная перекристаллизация магнетита, сопровождающаяся потерей высокотемпературного магнитного состояния и ростом анизотропии.

3. Наряду с отмеченной общностью магнитных свойств пород из зон динамотермального метаморфизма существуют некоторые значимые различия этих свойств, связанные, по-видимому, с типом исходных пород.

Гранат-биотитовые сланцы, образовавшиеся по регионально метаморфизованным породам, отличаются от подобных сланцев — продуктов динамотермального метаморфизма интрузивных пород — более низкой температурой Кюри пирротина, связанным с этим более высоким значением N_T , заметным возрастанием γ_0 и Δ_m , наконец, большей магнитной анизотропией. Совокупность этих признаков позволяет уверенно различать первичный субстрат метаморфических сланцев в зонах динамотермального метаморфизма.

ПЕТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В последнее десятилетие получили распространение так называемые петрофизические исследования, направленные на изучение физических свойств горных пород в связи с их минеральным и химическим составом, особенностями структуры и текстуры, степенью метаморфизма, на изучение пространственного распределения физических характеристик (главным образом плотности и намагниченности) горных пород и выявление закономерных связей этого распределения с историей геологического развития и строением земной коры, а также с размещением полезных ископаемых.

Закономерности, определяющие физические свойства горных пород, не укладываются в рамки существующей геологической классификации горных пород, поэтому целесообразна их петрофизическая классификация, основанная не только на минеральном составе пород и их генетическом типе, но и на значении и дисперсии физических параметров.

Главными этапами петрофизических исследований, определяющими их специфику, является изучение (расчет) физических характеристик (плотности, намагниченности, радиоактивности и др.) различных геологических тел по геофизическим картам, разрезам, данным каротажа, а также построение петрофизических карт и разрезов на основе статистической обработки данных и петрофизической классификации пород.

На петрофизических картах показывают распространение петрофизических групп пород. Выделение этих групп производят с учетом величин и статистических характеристик физических параметров, генетического типа пород и их состава. При определении границ распространения петрофизических групп пород зачастую привлекают данные изучения физических свойств образцов пород.

Отражение физических свойств в классификационных схемах горных пород, построение петрофизических карт облегчают использование физических характеристик горных пород в геологических исследованиях. Так, например, при геологической съемке средних и крупных масштабов петрофизические исследования могут дать дополнительные объективные критерии разделения интрузивных пород на комплексы и фазы внедрения, метаморфических и осадочных пород — на серии и свиты, могут помочь выделению перспективных участков для поисков рудных месторождений.

Петрофизические исследования проводят непосредственно в процессе геологической съемки. При этом для изучения физических свойств пород используют те же образцы, которые отбирают геологи в маршрутах, в горных выработках или при бурении скважин.

Петрофизические исследования успешно применяются в ряде регионов СССР. Так, например, петрофизическое изучение траппов Сибирской платформы позволило разработать надежные критерии полевой диагностики разновидностей траппов, визуально неотличимых друг от друга. Широко используются петрофизические исследования при глубинном и объемном геологическом картировании (см. гл. X).

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геологосъемочные работы сопровождаются не только гидрогеологическими, но и гидрохимическими исследованиями, для проведения которых в составе геологосъемочной партии может быть предусмотрена должность инженера (техника)-гидрогеолога или создан специальный отряд. Гидрохимические исследования в ряде случаев могут быть совмещены с гидрогеологическими, при этом должна быть учтена специфика гидрохимического опробования. В проекте работ геологосъемочной партии определяются содержание и объемы гидрохимических исследований, методика их проведения, а также предусматривается оснащение партии необходимым оборудованием и приборами, в том числе оборудованием для опробования буровых скважин в районах двух- и трехъярусного строения.

В подготовительный период собирается и интерпретируется фондовый и опубликованный фактический материал о химическом составе природных вод (данные об общем ионном составе, степени минерализации вод, результаты спектральных анализов сухих остатков и концентратов) и их динамике (дебит водоисточников, положение уровня воды в скважинах, шурфах, колодцах, фильтрационные свойства водоносных горизонтов, направление стока, взаимодействие между водоносными горизонтами и поверхностными водоемами и водотоками, режимные данные и т. д.). Составляются карты фактического материала, отражающие все имеющиеся сведения о динамике, условиях залегания и питании подземных вод, их общем и поэлементном химическом составе.

В районах, перспективных для поисков полезных ископаемых, кроме карт фактического материала составляются карты общего химического состава вод и кларков концентрации в водах химических элементов. На последней карте показываются также гидрохимические аномалии и водные ореолы рассеяния элементов, если таковые были установлены предшествующими съемке гидрохимическими исследованиями.

В итоге обобщения имеющихся к началу геологосъемочных работ гидрохимических данных определяются возможности гидрохимического метода для решения геологосъемочных и поисковых задач; намечаются задачи, которые могут решаться с привлечением гидрогеохимических данных, и рациональная сеть гидрохимического опробования.

Полевые гидрохимические исследования при геологической съемке масштаба 1:50 000 проводятся с опережением или на первом этапе съемочных работ в районах одноярусного геологического строения и на всех этапах съемочных работ в районах двух- и трехъярусного геологического строения. Сеть гидрохимического опробования намечается по топографической основе масштаба 1:25 000. В сеть опробования включаются родники, колодцы, шурфы, каналы, скважины картировочного бурения, мелкие речки и ручьи, небольшие озера и болота грунтового питания. Сеть опробования намечается в зависимости от расчлененности рельефа и сложности геологического строения с таким расчетом, чтобы каждый частный водораздел между притоками высших порядков магистральной реки был охарактеризован двумя-тремя водоисточниками, расположенными в прибортовых частях ложбин стока и в их центре. На равнинных территориях аридной зоны в сеть гидрохимического опробования включаются также солончаки. В районах двух- и

трехъярусного строения может быть проведено поинтервальное гидрохимическое опробование скважин. Такое опробование наиболее целесообразно предусматривать в районах сложного геологического строения, перспективных на скрытое оруденение, а также в нефтегазоносных областях.

Гидрохимическому опробованию не подлежат родники, реки, озера, в пределах частных областей питания которых имеются источники бытового загрязнения, родники и колодцы с резко выраженным сезонным питанием и стоком (верховодка), скважины, шурфы, колодцы с металлическими конструкциями в каптажном устройстве ниже уровня воды. Необходимо избегать опробования водонесточников с обильной примесью тонкодисперсного илесто-глинистого материала в водах. В случае отбора мутных вод они фильтруются через складчатый фильтр и первые порции фильтрата (0,5 л) отбрасываются; вместе с пробой воды отбирается и проба отфильтрованного кластического материала на спектральный анализ. Основными требованиями к гидрохимическому опробованию являются: соблюдение чистоты опробования, тщательность документации, точность и полная объективность регистрации наблюдений [182, 271, вып. 10].

Если гидрохимические исследования связаны с первыми от поверхности земли водоносными горизонтами и комплексами, подчиняющимися климатическому режиму питания и стока, то они проводятся в определенные сезоны года. В районах гумидной зоны и на низко- и среднегорных территориях аридной зоны гидрохимические исследования проводятся в период летней межени, в условиях равнинных территорий южной аридной зоны — в начале летней межени, а на равнинных территориях северной зоны недостаточного увлажнения (Карелия и Кольский полуостров, Северный Урал, Пай-Хой, север Красноярского края и др.) — в конце гидрологического года.

В районах избыточного увлажнения (Приморье, некоторые районы Кавказа, высокогорные районы Сибири), где неустойчивому климатическому режиму подчинены воды первых от поверхности земли водоносных горизонтов и комплексов даже в межень, гидрохимические исследования с целью поиска сульфидных руд сопровождаются режимными наблюдениями и расчетами баланса влагооборота в пределах каждой из частных областей питания. Гидрохимические исследования, не имеющие целью поисков сульфидных руд, могут и не сопровождаться режимными наблюдениями. Режимные наблюдения могут не проводиться и в том случае, когда интерпретация гидрохимических данных ведется методом кларков концентрации элементов в минеральной составляющей вод (Е. Е. Белякова и др., 1968 г.) или методом факторного анализа [156].

Пробы воды отбираются в чисто вымытые бутылки, емкостью от 0,5 до 1,0 л, в количествах, достаточных для выполнения полного химического анализа водного раствора и получения не менее 50 мг сухого остатка на сернокислой основе (пресные и слабосоленые воды с минерализацией до 5 г/л) или не менее 50 мг концентрата с гидроксидом алюминия (соленые воды и рассолы с минерализацией 5 мг/л и более) для спектрального анализа на 42 элемента. Щелочные и щелочноземельные металлы определяются методом фотометрии пламени. Ряд элементов (цинк, медь, кадмий, свинец и др.) с высокой чувствительностью определяются методом амальгамной полярографии. Рекомендуется также применять методы ионоселективных электродов и атомной абсорбции, что позволит понизить вдвое объемы проб, необходимые для анализа. В зависимости от минерализации воды объемы проб, достаточные для однократных аналитических исследований, колеблются от 1,0 (рассолы) до 3,5 л (очень пресные воды с минерализацией менее 0,1 г/л). Для выполнения повторных и контрольных хими-

ческих и спектральных анализов проб воды их объемы, достаточные для однократных анализов, удваиваются.

Наряду с пробами воды на химический и спектральный анализы отбирают микробиологические пробы. В этих пробах в лабораторных условиях определяют количество и активность тионовых, сульфатвосстанавливающих, водородпродуцирующих и других бактерий (в зависимости от стоящих задач), а также общую бактериальную заселенность вод (Л. Е. Крамаренко, 1974 г.). Микробиологические пробы отбирают в стерильные бутылки с соблюдением мер предосторожности от загрязнения пробы за счет воды, стекающей с рук, кусков почвы, пыли и т. д. Объем пробы 0,25 л. Микробиологические пробы не следует подвергать длительному хранению, их нельзя держать на солнце, лучи которого убивают микроорганизмы.

Значительную часть аналитических исследований проб воды целесообразно выполнять в полевых условиях, на базе геологосъемочной партии [360]. Это повышает эффективность гидрогеохимического метода и оперативность использования полученных данных для решения геологосъемочных и поисковых задач. Наблюдения при полевых гидрохимических исследованиях фиксируются в полевых дневниках, в аналитических журналах и на полевой карте фактического материала [271, вып. 10].

Обработка и интерпретация гидрохимических данных с целью их использования для решения ряда геологических и прогнозно-поисковых задач выполняются по принципам и методике регионального гидрогеохимического анализа.

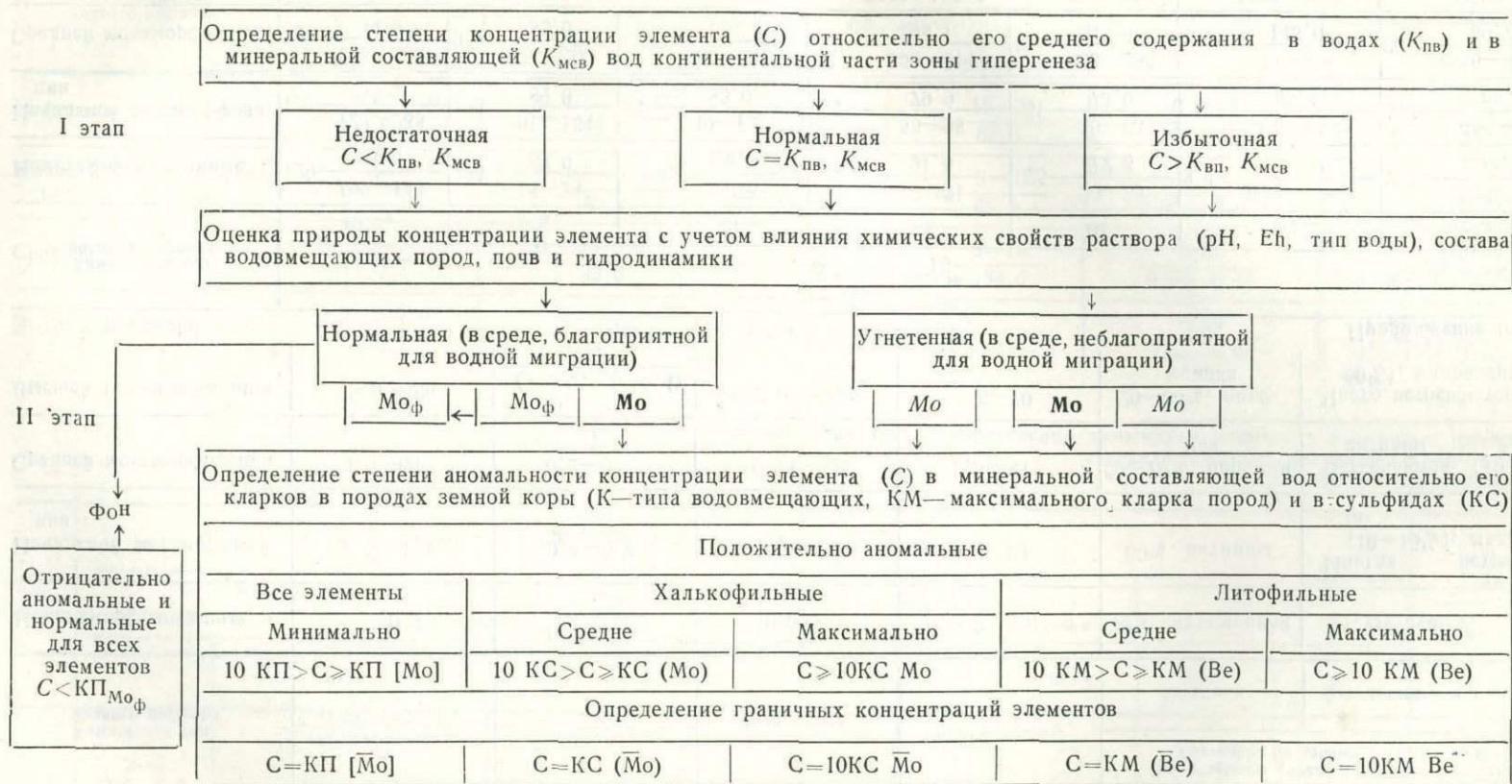
Сущность анализа и его основные этапы описаны ниже, показаны частично на схеме.

1. Производится районирование территории по условиям миграции химических элементов в системе вода — породы, с целью исключения влияния особенностей ландшафта на распределение химических элементов в водах и их минеральной составляющей. Выявляются нормальные (фоновые) химические типы вод, отражающие динамику вод в данных природных условиях, и аномальные, характеризующие особенности природных условий формирования вод. Критерии типизации вод и нормальные (фоновые) характеристики каждого из типов приведены в табл. 3. К аномальным по химическому типу относятся воды, формирование которых в обычных условиях данного ландшафта не происходит; например, участок с развитием вод II типа в приводораздельной части бассейна водосбора или воды I типа на склоновой части бассейна водосбора или у базиса эрозии. К аномальным водам по химическим свойствам относятся воды одного и того же химического типа, но с нехарактерными для этого типа гидрохимическими и микробиологическими особенностями; например, воды I типа с минерализацией 5 г/л или воды III типа с минерализацией до 1 г/л, $Eh=0,2$, $pH=8,0$ и т. д.

Первые часто служат индикаторами разломов либо пликативных тектонических структур, а вторые — необычных ландшафтно-геохимических условий формирования вод (в приведенном для примера случае — локальной восстановительной направленности гипергенных процессов).

2. Отмечаются участки развития вод одного и того же химического типа, но различающихся по ионному составу; например, появление среди поля гидрокарбонатных кальциевых вод I типа таких же по химическому типу вод, но гидрокарбонатного магниевого или сульфатного кальциевого состава. Общий ионный состав служит индикатором пород специфического минерального состава. Магниево-кальциевые воды — признак либо доломитов, либо пород ультраосновного состава (уточняется по типам ассоциаций химических элементов), а сульфатный кальцие-

Схема последовательности определения категорий концентрации химических элементов в водах и в системе минеральная составляющая вод — породы (сульфиды) земной коры



Примечание. Для слабых электроположительных элементов с пониженной миграционной способностью в водах зоны гипергенеза (Cu, Zn, Ni, Fe) за максимальные кларки принимаются не их кларки в сульфидах земной коры, а максимальные кларки пород основного (Cu, Zn) и ультраосновного (Fe, Ni) состава. Полу жирным шрифтом показана избыточная степень концентрации, курсивным — угнетенная.

Классификационные признаки и средние химические характеристики природных вод разных химических типов, формирующихся в зоне гипергенеза на территории СССР

Химический тип водного раствора	$\frac{rSO_4+rCl+rF+\dots}{rHCO_3+rCO_3+\dots}$	Еh, в рН	Ионная сила μ	Минерализация, г/л	Встречаемость (число случаев, %) и активность бактерий, по данным Л. Е. Крамаренко	
					Аэробные	Факультативные и анаэробные
Неметаморфизованные	<0,5	$\frac{0,4-0,9}{<7,0}$	0,006	0,2—3,0	40%, переменная	Отсутствуют
Начальной метаморфизации	0,5—4,0	$\frac{0,4-0,7}{5,9}$	0,007—0,04	0,2—10	60%, активны	Иногда встречаются (10—15%), малоактивны
Средней метаморфизации	4,0—60	$\frac{0,2-0,4}{7}$	0,04—0,2	1,0—35	60—70%, переменная	Встречаются (до 30%), активны
Высшей метаморфизации	60 и более	$\frac{0,1-0,7}{(-0,2)-(-0,4)}$	0,2 и более	5—70	20—30%, переменная	Часто встречаются (50—60%), малоактивны

Продолжение табл. 3

Химический тип водного раствора	$\bar{X} \pm \frac{\lambda 5\%}{V, \%}$, мг/л						
	HCO ₃	SO ₄	Cl	Na+K	Ca	Mg	Минерализация
Неметаморфизованные	129 $\frac{109-149}{61,8}$	20 $\frac{16-24}{68,0}$	12 $\frac{9-15}{68,8}$	17 $\frac{13-21}{91,8}$	25 $\frac{20-30}{72,8}$	8,4 $\frac{6,9-9,9}{66,0}$	238 $\frac{206-270}{59,3}$
Начальной метаморфизации	180 $\frac{122-238}{55,2}$	129 $\frac{91-164}{82,0}$	56 $\frac{40-72}{83,0}$	77 $\frac{56-98}{79,9}$	51 $\frac{39-63}{73,0}$	19 $\frac{14-24}{68,4}$	552 $\frac{456-648}{56,0}$
Средней метаморфизации	209 $\frac{163-255}{44,0}$	958 $\frac{545-1371}{86,6}$	1327 $\frac{490-2164}{126,8}$	757 $\frac{350-814}{108,1}$	194 $\frac{153-235}{43,0}$	154 $\frac{40-268}{148,6}$	3093 $\frac{1986-4200}{80,7}$
Высшей метаморфизации	201 $\frac{154-248}{80,6}$	5000 $\frac{3830-6170}{79,3}$	12700 $\frac{9810-15590}{76,9}$	10200 $\frac{7700-12700}{81,8}$	750 $\frac{611-889}{61,1}$	1560 $\frac{1170-1950}{83,7}$	40000 $\frac{30600-49400}{79,3}$

Химический тип водного раствора	$\frac{\bar{X} \pm \lambda_5\%}{V, \%}$				$\frac{\bar{X}}{\bar{X}_{\max} - X_{\min}}$ ионная сила раствора μ	Формула Курдова
	рН	Еh, в	СО ₂ , мг/л			
			свободная	агрессивная		
Неметаморфизованные	6,9 $\frac{6,8-7,0}{5,7}$	0,50 $\frac{0,476-0,524}{22,2}$	37 $\frac{31-43}{32,8}$	24 $\frac{16-31}{62,3}$	$\frac{0,0040}{0,003-0,005}$	$\frac{\text{HCO}_3 74 \text{ SO}_4 14 \text{ Cl } 12}{\text{Ca } 47 (\text{Na}+\text{K}) 28 \text{ Mg } 26}$
Начальной метаморфизации	7,5 $\frac{7,3-7,7}{6,9}$	0,44 $\frac{0,356-0,520}{40,2}$	22 $\frac{17-28}{33,2}$	14 $\frac{8-21}{65,8}$	$\frac{0,011}{0,007-0,014}$	$\frac{\text{HCO}_3 41 \text{ SO}_4 37 \text{ Cl } 22}{(\text{Na}+\text{K}) 45 \text{ Ca } 34 \text{ Mg } 21}$
Средней метаморфизации	7,2 $\frac{6,9-7,5}{7,4}$	0,32 $\frac{0,312-0,338}{39,6}$	21 $\frac{11-32}{59,5}$	12 $\frac{8-16}{84,5}$	$\frac{0,08}{0,03-0,11}$	$\frac{\text{Cl } 62 \text{ SO}_4 33 \text{ HCO}_3 5}{(\text{Na}+\text{K}) 57 \text{ Mg } 23 \text{ Ca } 20}$
Высшей метаморфизации	7,3 $\frac{7,2-7,5}{6,7}$	Данных для расчета недостаточно			$\frac{0,58}{0,43-0,69}$	$\frac{\text{Cl } 76 \text{ SO}_4 23}{(\text{Na}+\text{K}) 83 \text{ Mg } 16}$

Таблица 4

Оценки параметров распределения химических элементов в водах и минеральной составляющей вод континентальной части зоны гипергенеза для территории СССР

Элементы	Фоновое геохимическое поле $n_i \cdot 10^{-i} = \bar{X} \pm \lambda_5\%$										Среднее взвешенное содержание, г/100 г сухого остатка
	Нормальное					Аномальное					
	г/100 г раствора					г/100 г сухого в-ва					
	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻⁴	10 ⁻¹	10 ⁻³	
Si	5-7	—	—	—	—	10-20	—	—	30-60	—	2,0
K	2-5	—	—	10-30	—	2-5	—	—	10-20	—	0,2
Fe	0,6-1,5	—	—	2-3	—	0,4-1	—	—	1-3	—	0,05
Al	0,5-0,9	—	—	2-5	—	0,2-0,5	—	—	2-5	—	8·10 ⁻³
F	0,3-0,8	—	—	2-6	—	0,1-0,5	—	—	1-6	—	4·10 ⁻³

Элементы	Фоновое геохимическое поле $n_i \cdot 10^{-i} = \bar{X} \pm \lambda_5\%$										Среднее взвешенное содержание, г/100 г сухого остатка
	Нормальное					Аномальное					
	г/100 г раствора					г/100 г сухого в-ва					
	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻¹	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻¹	10 ⁻³	
Sr	0,02—0,4	—	—	0,8—4	—	0,2—0,4	—	—	0,7—1	—	8·10 ⁻³
Mn	—	4—7	—	0,2—0,4	—	0,1—0,2	—	—	0,3—2	—	0,01
Ba	—	3—5	—	0,1—0,4	—	—	5—8	—	0,2—0,4	—	6·10 ⁻³
Ti	—	2—5	—	0,1—0,3	—	—	1—3	—	0,1—0,3	—	1·10 ⁻³
Li	—	1—5	—	0,1—0,5	—	—	1—3	—	0,1—0,2	—	1·10 ⁻³
Zn	—	0,8—2	—	—	3—5	—	2—6	—	0,1—0,4	—	2·10 ⁻³
U	—	—	2—8	—	—	—	—	0,1—0,5	—	0,06—0,4	2·10 ⁻⁵
Cu	—	—	4—6	—	1—2	—	1—2	—	—	2—4	1·10 ⁻³
Ni	—	—	4—7	—	0,9—2	—	1—3	—	—	—	2·10 ⁻³
Sb	—	—	2—7	—	0,7—2	—	—	3—6	—	2—4	1·10 ⁻⁴
Zr	—	—	3—6	—	0,7—0,9	—	—	5—9	—	2—4	1·10 ⁻⁴
Cr	—	—	3—5	—	0,6—0,8	—	0,6—1	—	—	2—6	4·10 ⁻⁴
Mo	—	—	3—5	—	1—3	—	0,7—1	—	—	2—5	8·10 ⁻⁴
V	—	—	2—5	—	—	—	—	5—7	—	1—3	4·10 ⁻⁵
Pb	—	—	2—5	—	1—2	—	—	4—8	—	3—8	5·10 ⁻⁴
Y	—	—	2—4	—	0,4—0,6	—	—	2—5	—	1—4	2·10 ⁻⁵
Sn	—	—	1—3	—	0,4—0,6	—	—	0,7—2	—	0,6—2	5·10 ⁻⁵
Co	—	—	0,9—2	—	—	—	—	2—4	—	0,7—2	1·10 ⁻³
Ga	—	—	0,8—2	—	—	—	—	2—5	—	—	1·10 ⁻⁴
Be	—	—	0,5—2	—	0,1—0,4	—	—	0,3—0,8	—	0,4—2	3·10 ⁻⁵
Ag	—	—	0,3—0,6	—	0,1—0,3	—	—	0,9—2	—	0,4—0,6	3·10 ⁻⁵
Cd	—	—	—	—	0,8—2	—	—	—	—	0,1—0,7	3·10 ⁻⁵
Bi	—	—	—	—	0,1—0,4	—	—	—	—	0,1—0,5	—
W, Ge, Jn, La, As, Rb, Cs, Sc, Ce, Nb	Не установлены из-за редкой встречаемости					и вследствие недостаточной чувствительности аналитических методов					5·10 ⁻⁵ , 3·10 ⁻⁴ 1,5·10 ⁻⁴ , 5·10 ⁻⁵ 3·10 ⁻³ , 8·10 ⁻⁵ 5·10 ⁻³ , 2,5·10 ⁻⁴

вый состав вод — признак гипсоносности или окисленной сульфидоносности карбонатных пород (также уточняется по типам ассоциаций химических элементов).

3. Выделяются категории распределения химических элементов в водах (в граммах на 100 г раствора) по отношению к средним оценкам параметров распределения элементов в водах зоны гипергенеза для территории СССР (табл. 4) в том случае, если минерализация вод района находится в доверительном интервале фоновых вод. В других случаях выделяются категории концентрации химических элементов в минеральной составляющей вод (в граммах на 100 г сухого вещества) относительно средних оценок параметров распределения их в минеральной составляющей вод территории СССР (см. табл. 4).

В том случае, если содержания элементов выражаются в граммах на 100 г сухого вещества, определяется также степень аномальности концентрации каждого из элементов в системе минеральная составляющая вод данного водоисточника — породы (литофильные элементы), породы и сульфиды (халькофильные элементы) земной коры континентов (метод кларков концентрации).

Если объем проб достаточен для статистической обработки гидрохимических данных и выборки составляются по пробам, связанным с определенными литолого-стратиграфическими или формационными типами пород, то для определения закономерностей распределения элементов как в водах, так и в их минеральной составляющей используются методы сравнения оценок параметров распределения элементов в рядах выборок, либо с генеральными средними и дисперсиями (см. табл. 4), либо выборка с выборкой по известным критериям статистической значимости.

4. Анализируются условия водной миграции химических элементов и уточняется природа выявленных аномальных гидрогеохимических полей с различными категориями распределения элементов. При этом может быть полезен метод главных компонент факторного анализа и корреляционный анализ.

5. В итоге составляются полиэлементные прогнозные гидрогеохимические карты (рис. 47) и объяснительный текст к ним для отчета по результатам геологосъемочных работ в целом. На картах границы распространения химических типов вод, вод разного ионного состава, аномальных по распространению химических элементов полей проводятся на топографической основе масштаба 1 : 25 000 с учетом положения водоразделов, ближайших к данному водоисточнику (или группам водоисточников) и по значениям концентраций одного или ряда элементов, содержащихся в водах либо в их минеральной составляющей в наивысшей категории аномальности (нижняя граница по стоку вод). В пределах каждого из аномальных полей по данным одного или ряда водоисточников, расположенных в его пределах, формируются гидрохимические ассоциации элементов, по составу индикаторных групп которых в дальнейшем производится прогнозная интерпретация гидрохимической информации. При этом учитываются известные данные о геологическом строении территории, минеральный состав главных типов пород земной коры и руд различной формационной принадлежности. Выявленные в настоящее время типы металлогенных гидрохимических ассоциаций опубликованы в статье Е. Е. Беляковой и Г. М. Шора (1975 г.).

Гидрохимические данные (типы вод, их ионный состав, типы гидрохимических ассоциаций элементов в минеральной составляющей вод) используются для различных целей в зависимости от геологического строения района: для выяснения геохимических особенностей пород, выявления и прослеживания тектонических нарушений, древних вулканических аппаратов и очагов магматизма, определения геохими-

ческой активности контактов интрузивных тел с вмещающими породами, первичной природы метаморфических пород, металлогенической специфики геологических формаций и их разностей, выявления участков, перспективных для поиска рудных полезных ископаемых, с указанием вероятного формационного типа рудной минерализации.

При изучении кор выветривания гидрохимические данные могут быть привлечены для решения следующих задач: характеристика геохимических типов ландшафта и направленности процесса химического выветривания, выявление участков наиболее интенсивного развития кор выветривания под наносами и их геохимической характеристики. Подобные же задачи могут решаться при изучении четвертичных отложений с особым акцентом на прогноз россыпей полезных минералов и участков развития смещенных по стоку вод литохимических аномалий.

Более подробно методика проведения гидрохимических исследований при геологической съемке изложена в «Методических указаниях» [271, вып. 10].

ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В районах одно- и двухъярусного геологического строения на площадях с мощной толщей (до 50 м) непродуктивных рыхлых отложений для решения ряда геологосъемочных задач можно использовать геоботанический и биогеохимический методы. Сущность геоботанического метода заключается в установлении отдельных видов растений и растительных сообществ, а также их признаков, которые могут быть использованы для выделения и оконтуривания литологических разностей горных пород, для прослеживания зон тектонических нарушений, для выделения площадей или участков, перспективных на некоторые полезные ископаемые (В, Pb, Zn, Cu, U, Li и др.). Сущность биогеохимического метода заключается в изучении особенностей распределения химических элементов в отдельных видах растений с целью определения геохимических и металлогенических характеристик почв и подстилающих их горных пород, для использования полученной информации при оконтуривании отдельных геохимических разностей горных пород и выявлении участков развития в породах рудной минерализации [276, 198, 391, 120, 78].

В том случае, если проектом предусмотрено проведение геоботанических и биогеохимических исследований, в подготовительный период подбирают, изучают и интерпретируют фондовые и опубликованные материалы о флоре, растительности и химическом (элементном) составе растений, о растениях и растительных сообществах — вероятных индикаторах отдельных литологических разностей пород или той или иной рудной минерализации, преимущественно развитых в районе исследований.

В совокупности с данными о геологическом строении района, металлогении, гидрогеологии, геоморфологии сведения о растительности используются при ландшафтно-геохимическом районировании территории съемки. По материалам аэрофотосъемки производится дешифрирование растительности: анализ фотонизображения и опознавание на аэрофотоснимках и фотосхемах отдельных видов растений и растительных сообществ.

В результате подготовительных работ геоботаником должны быть составлены ориентировочные списки видов растений и растительных сообществ района полевых работ, геондикационная таблица, а также намечены схема геоботанических маршрутов, участки для проведения детальных опытно-методических работ и сеть биогеохимического опробования с указанием видов растений, рекомендуемых для отбора [276].

ПОЛЕВЫЕ ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эти исследования проводятся в три этапа: рекогносцировка, детальные опытно-методические и региональные (площадные) работы. В районах, где прикладные геоботанические и биогеохимические исследования проводились прежде, рекогносцировку и опытно-методические детальные работы проводить не следует, так как задачи этих этапов исследо-

ватель сможет решить путем изучения гербарного материала и литературы (опубликованной и фондовой) по геоботаническому и биогеохимическому методам в картируемом районе или районах, смежных и сходных с ним по комплексу физико-географических условий.

В итоге рекогносцировки необходимо получить общее представление о флоре и растительности картируемой территории и об основных закономерностях изменения растительности в зависимости от геоморфологических и особенно от геохимических условий среды. В связи с этим на этапе рекогносцировки производятся геоботанические наблюдения по всему району работ по редкой сети маршрутов (чаще по одному-двум).

Рекогносцировочные геоботанические маршруты намечаются по топографической основе масштаба 1:25 000 с целью равномерного изучения всех типов местообитаний. В ходе рекогносцировки осуществляются: сбор гербария, распознавание и выявление сообществ растений, выделение однородных участков сообществ, окончательный выбор ключевых (эталонных) участков для проведения опытно-методических работ, а также выбор видов растений для биогеохимического опробования.

При сборе гербария каждый вид растений должен быть представлен 3—5 экземплярами. Рекомендуется производить сбор одного и того же вида в разных местообитаниях для выявления разновидностей и форм, возникновение которых может быть обусловлено спецификой подстилающих горных пород. Травянистое растение выкапывается с корнем, предпочтительно цветущий экземпляр, а в том случае, когда при определении вида важным диагностическим признаком является строение плода или семян (виды растений семейств зонтичные, осоковые, крестоцветные и др.), необходимо собрать и их. На месте сбора растение очищается и аккуратно вкладывается в гербарную папку, куда помещается заполненная по форме этикетка.

В этикетках сведения об условиях произрастания отбираемых в гербарий растений должны быть особенно подробными, если определение гербария, т. е. камеральная обработка его, будет производиться не самим исследователем, а специалистом-флористом сторонней организации. Точки, где производится сбор гербарных образцов, наносятся на топографическую основу и увязываются с геологической картой.

Распознавание сообществ производится визуально и требует от исследователя максимума наблюдательности и умения ориентироваться в растительном покрове. Определяющими при выявлении сообществ растений являются те свойства растительности, которые наблюдаются непосредственно: внешний вид, флористический состав, характер биоморф, конфигурация отдельных участков и т. п. Обычно к одному сообществу при этом относятся такие участки растительности, которые характеризуются одними и теми же доминирующими видами в каждом из ярусов и занимают одинаковое положение в рельефе с учетом экспозиции склонов. Выделение однородных участков сообществ производится с целью последующего наиболее детального их изучения. Для каждого выявленного в районе растительного сообщества выделяется не менее 5—10 таких однородных участков, по возможности равномерно распределенных по всей площади исследования, с охватом всех типов местообитаний. Все выделенные однородные участки растительности наносятся на карту, затем тщательно просматриваются и сравниваются, чтобы наметить, в пределах каких из них будет производиться описание.

Выбор ключевых, или эталонных, участков осуществляется геоботаником совместно с геологом. Под эталонным подразумевается участок с естественным растительным покровом, служащий как бы образцом (эталонном) определенных геолого-геохимических условий и сопряжен-

ных с этими условиями растительных сообществ, видов растений или комплекса иных признаков растительности.

Выбор эталонных участков производится с расчетом охватить изучением растительный покров всего комплекса наиболее типичных горных пород, слагающих район съемки. Эталонные участки отмечаются на топографической основе и в их пределах в дальнейшем проводятся детальные опытно-методические геоботанические и биогеохимические работы.

Выбор видов растений, наиболее подходящих для биогеохимического опробования, производится на основании сведений об их распространенности и морфологии корневых систем. Обычно опробуются многолетние растения, обладающие хорошо развитой и глубоко проникающей системой корней [401, 405, 391, 179, 137, 110]. Желательно, чтобы это был один вид с достаточно широкой экологической амплитудой, дающей ему возможность произрастать на различных местообитаниях в пределах климатически однородного района.

Детальные опытно-методические работы проводятся в пределах эталонных участков, выделенных на этапе рекогносцировки. Число таких участков зависит от степени сложности геологического и геоморфологического строения района съемки, а также от того, какой объем сведений необходимо получить при опытно-методическом исследовании. В результате проведения детальных опытно-методических геоботанических и биогеохимических исследований должен быть установлен комплекс ботанических (соответственно геоботанических или биогеохимических) признаков — индикаторов определенных горных пород или рудной минерализации для района съемки. Поэтому на этапе опытно-методических работ планируется значительно больший, по сравнению с этапом рекогносцировки, объем ботанических исследований. Максимальную ботаническую и биогеохимическую информацию для всех эталонных участков особенно важно получить в том случае, если горные породы района съемки, потенциально перспективные на рудные полезные ископаемые, в ряде мест района залегают под значительной толщей рыхлых отложений и плохо картируются обычными геологическими методами (районы развития ледниковых, эоловых отложений, залесенные и заболоченные территории).

Геоботанические исследования выполняются по определенной программе [276] на нескольких (3—10) пробных площадках, выделенных в пределах каждого эталонного участка. Размеры пробных площадок в каждом конкретном случае могут варьировать, составляя в среднем 1—3 м² для травянистых и 16—100 м² для лесных сообществ. При описании растительности следует руководствоваться основными методическими пособиями для геоботанических исследований В. В. Алехина (1938 г.), В. В. Алехина и А. А. Уранова (1933 г.), С. В. Викторова (1960 г.), а также других авторов [73, 557, 535, 64, 72, 276, 268, 401].

Для удобства последующей камеральной обработки геоботанических данных и получения возможно большей индикаторной ботанической информации описание растительности на пробных площадках целесообразно проводить по стандартной схеме с изучением всех признаков сообщества и отдельных растений, которые могут выступать в качестве индикаторов геологических и геохимических особенностей данной территории. Такими признаками могут быть флористические (особенности видового состава сообществ), морфологические (специфические отклонения от нормы в форме и окраске листьев, стеблей и соцветий и т. д.), фенологические (различные отклонения от нормы в ритме развития растений) и фитоценотические (специфика сообщества в целом — в выраженности ярусов, в характере размещения растений, в проективном покровити, в жизненности компонентов сообщества и т. д.).

При описании растительности пробных площадок необходимо детально охарактеризовать выраженность ярусов, их количество, среднюю высоту и проективное покрытие (или сомкнутость) в процентах для каждого яруса растительного сообщества отдельно; изучить флористический состав сообщества (часто по ярусам); указать обилие каждого из видов растений по шкале Друде (1913, 1919 гг.) или в виде суммарной оценки обилия и степени покрытия поверхности субстрата растением по шкале Браун-Бланке [63, 468, 88, 490, 492]. Наряду с этим отмечаются общественность или характер произрастания каждого из видов сообщества [491], встречаемость их [538], жизненность (И. Браун-Бланке, И. Павиар, 1922, 1925, 1928 гг.), стадия вегетации, а также физиономичность, или аспект. Последний признак (аспект) определяется стадией вегетации растений и обычно характеризуется заметками следующего типа: аспект бело-розовый за счет обильного цветения гвоздики (*Dianthus alba*) и качима (*Gypsophila patrinii*); аспект голубоватый из-за нехарактерной окраски листьев типчака *Festuca sulcata*) и т. п.

Особенно важно учитывать физиономичность при дешифрировании растительности на аэрофотоснимках, так как внешний вид сообщества в значительной мере определяет характер фотоизображения растительности.

Проведение полевых работ в тот же период вегетации, в который была произведена аэрофотосъемка, является обязательным, иначе возможны грубые ошибки при установлении признаков, по которым можно опознавать и отличать одно сообщество растений от другого.

Все отмеченные выше признаки в дальнейшем не только используются для установления сообществ, но в ряде случаев они будут сами индикаторами тех или иных особенностей геологического строения. Поэтому детальное изучение их при описании растительности в пределах пробных площадок эталонных участков строго обязательно. Только в этом случае при камеральной обработке данных полевых опытно-методических геоботанических исследований можно получить комплекс индикаторных ботанических признаков, необходимый для решения геологосъемочных и поисковых задач.

Параллельно с геоботаническими наблюдениями на тех же эталонных участках проводятся и опытно-методические биогеохимические исследования. Цель их — определение растительных объектов, наиболее подходящих для проведения региональных (площадных) биогеохимических исследований и обоснование комплекса биогеохимических индикаторных (поисковых и литоиндикаторных) признаков.

Для решения этих задач на этапе опытно-методических биогеохимических исследований выполняются следующие виды работ.

1. Отбираются биогеохимические пробы двух-трех широко распространенных в районе съемки видов многолетних растений; желательнее отбирать не менее 30 проб для каждого из видов в пределах эталонного участка.

2. Определяются видовые средние для этих растений (локальные — для эталонного участка или региональные — для региона в целом).

3. Устанавливается степень соответствия концентраций химических элементов в системе порода — растения для отдельных локальных местообитаний (эталонных участков) или для региона в целом, в результате чего выявляются виды — биогеохимические индикаторы, т. е. устанавливаются такие растения, химический (элементный) состав золь которых наиболее полно и правильно отображает химический (элементный) состав подстилающих горных пород, почв и вод.

Для ряда регионов СССР перечисленные виды работ уже выполнены, необходимо лишь перед началом полевого сезона собрать эти сведения либо из опубликованных [276], либо из фондовых работ во Все-

союзном геологическом фонде или соответствующих территориальных геологических управлений.

4. На этапе опытно-методических биогеохимических исследований определяются также биогеохимические ассоциации элементов, характерные для типичных в районе рудопроявлений и месторождений (поисковые) и хорошо геохимически охарактеризованных горных пород (литоиндикационные). Способы установления ассоциаций различны. Для этих целей могут быть использованы следующие методы: кларков концентрации [276], коэффициентов аномальности [418], метод многократной корреляции [31; 39; 271], а также метод главных компонент факторного анализа [156, 233]. С помощью двух первых методов устанавливаются ориентировочные качественные группы (ассоциации) химических элементов — биогеохимических индикаторов определенной рудной минерализации (или той или иной литологической разности горных пород). Последние два метода позволяют выделить генетические биогеохимические ассоциации.

Некоторые сведения о поисковых биогеохимических ассоциациях определенной рудной минерализации можно получить и в предполевой период из опубликованных и фондовых работ [6, 175, 276]. Наличие сведений о биогеохимических ассоциациях химических элементов (поисковых или литоиндикационных) для района, где планируется постановка площадной биогеохимии, во многом облегчит задачу интерпретации биогеохимических данных.

На третьем, заключительном, этапе полевых ботанических работ проводятся региональные геоботанические и биогеохимические исследования. Их целесообразно проводить: 1) на площадях, выделенных геологами как потенциально перспективные на скрытое оруденение в целях уточнения положения предполагаемых рудных тел; 2) на площадях, труднокартируемых обычными геологическими методами в связи с перекрытостью их мощной толщей рыхлых образований, залесенностью, заболоченностью и т. д. В этом случае геоботанические и биогеохимические данные привлекаются к решению некоторых вопросов геологической съемки (выделению и оконтуриванию отдельных литологических разностей горных пород, уточнению положения зон разломов и т. д.).

В результате этих исследований для перечисленных выше площадей составляют поисковые или литоиндикационные геоботанические и биогеохимические карты, т. е. карты, на которых распространение тех или иных сообществ, или видов растений, или химических элементов в них позволит судить о геохимических и металлогенических особенностях горных пород.

Объем геоботанических исследований на этом этапе значительный: в пределах выделенной геологами площади должны быть закартированы все встречающиеся здесь растительные сообщества, и особенно те, что на предыдущем этапе исследований были отмечены как сообщества (виды, признаки и т. д.) — индикаторы той или иной рудной минерализации или отдельных литологических разностей горных пород в районе съемки. При этом каждое из выделенных сообществ должно быть охарактеризовано 5—10 детальными геоботаническими описаниями, выполненными по стандартному образцу [88, 276, 479, 411, 341, 342]. Желательно, чтобы каждое из сообществ или серия сходных сообществ были охарактеризованы и биогеохимически 10—30 пробами определенного вида многолетнего растения, широко представленного на всей этой площади.

Маршруты, по которым ведутся геоботанические наблюдения и отбор биогеохимических проб, размещаются довольно густо, особенно в пределах площадей, выделенных как потенциально перспективные на рудную минерализацию. Количество и сеть таких маршрутов в каждом

конкретном случае определяются особо, с учетом геологических, геоморфологических, ботанических (состав и строение растительного покрова) факторов и размера той площади, которую предстоит охарактеризовать. Основные маршруты ориентируются вкрест простирания предполагаемых рудных тел, геологических структур, зон тектонических контактов, а в условиях резко пересеченной местности — по изогипсам рельефа. Дополнительные маршруты размещаются по усмотрению самого исследователя и в основном для того, чтобы с достаточной степенью детальности обрисовать контуры распространения того или иного сообщества или вида растений.

При размещении ботанических маршрутов на равнинных площадях, перекрытых мощной толщей рыхлых отложений, основным критерием для уточнения их густоты является характер изменения состава и строения растительности, отражающей геологические и геохимические особенности картируемой территории. В этих условиях независимо от степени геологической сложности района работ (одно- или двухъярусное строение) геоботанические маршруты намечаются после тщательного изучения растительности и выделения типов или серий растительных сообществ, свойственных определенным разностям горных пород, т. е. после тщательного учета всего того материала, который был получен при опытно-методических исследованиях.

Параллельно с региональными (площадными) геоботаническими исследованиями (геоботаническим картированием) по тем же маршрутам отбирают и биогеохимические пробы, т. е. осуществляют биогеохимическое картирование. Биогеохимические исследования обязательно производят с соблюдением следующих основных правил [276].

1. В условиях равнинных площадей (некоторые районы одно- и двухъярусного геологического строения) с относительно простым, однородным геологическим строением и однородной растительностью при ведении биогеохимических поисков в масштабе 1 : 50 000 на значительной площади достаточны расстояния между маршрутами (профилями) 700—800 м, а шаг опробования — 100—300 (500) м. В районах, геологически и геоботанически более сложных, расстояние между профилями сокращается до 500—250 м, шаг отбора биогеохимических проб — до 100—50 м.

2. Размер пункта биогеохимического опробования варьирует в различных ландшафтных зонах от 25 (в лесной и лесостепной зонах) до 5 м² (в зоне сухих степей, полупустынь и пустынь) и 3—1 м² — в степной зоне. На лугах, однородных по условиям рельефа, почвам и растительности, на однородных по растительному покрову болотных массивах пункт отбора биогеохимических проб — 1 м².

3. Проба составляется для травянистых, полукустарниковых, кустарниковых и полукустарничковых растений из большого числа экземпляров надземных побегов опробуемого вида, отбираемых на высоте 0,2—0,3 м над поверхностью почвы; для кустарниковых и древесных растений — с разных сторон кроны одного экземпляра растения. Опробовать кору и древесину деревьев или корневую систему растений (травянистых многолетников, кустарников и др.), несмотря на некоторое накопление ими ряда элементов — Ва, Sr, Pb, Ni, Be и др., не следует. Это — очень трудоемкая работа (и при отборе, и при дальнейшей обработке), а получаемые результаты не отличаются особой геохимической эффективностью.

4. В пробу, как правило, отбирают нормально развитые растения и их части. Если на участке обнаружены экземпляры растений с различными отклонениями от нормы во внешнем облике, их отбирают специально. При этом в дневнике обязательно фиксируют замеченные отклонения.

5. Лучшими для биогеохимических исследований являются те виды, которые были выделены при опытно-методических работах как биогеохимические индикаторы.

6. В целях получения сопоставимых данных рекомендуется при ведении биогеохимических исследований производить сбор однородного фактического материала: образцов одного и того же вида растений или видов, близких по систематическому положению и экологическим требованиям [271, вып. 11].

7. Следует опробовать растения примерно одинакового возраста: опробуются деревья (и кустарники) с примерно одинаковым диаметром ствола, высотой и размером кроны, травянистые растения (однолетние, многолетние) — на определенной стадии развития (цветение, плодоношение и т. д.).

8. Для устранения влияния вегетационных и погодных колебаний на содержание химических элементов в растениях опробование производится в течение короткого (2—3 недели) срока, предпочтительно в периоды без дождей.

9. Масса сырых проб определяется тем, в каких климатических условиях (аридные, гумидные) ведутся работы, что из растений (травы, кустарники, деревья) и их органов (листья, кора, стебли, корни) отбирается и какое количество золы необходимо для анализа.

На однократный спектральный анализ необходимо 30 мг золы. Это количество золы обеспечивается в районах с гумидным климатом пробой надземных частей растений (листьев, стеблей с листьями) массой 50—100 г. (в сыром виде), а в условиях аридных районов — пробой 40—20 г. Для специальных анализов, например на золото, необходимо до 1 кг сырой растительной массы [344].

Следует отметить, что в полевой период кроме сбора различного ботанического фактического материала (геоботанического, биогеохимического) производится, как правило, ряд операций, связанных с первоначальной обработкой его. К числу этих операций относятся следующие: сушка гербария, предварительное определение гербарных образцов, сушка биогеохимических проб, сжигание их до черной золы, а иногда и озоление до однородной светлой золы, составление полевых геоиндикационных (литоиндикационных, поисковых) таблиц, схематических или уточненных геоботанических карт и полевых биогеохимических карт фактического материала [276].

Каждому из двух видов прикладных ботанических исследований — геоботаническому и биогеохимическому — присущи своеобразие и специфика обработки полевых материалов. Поэтому описание приемов интерпретации и изображения полученных результатов излагаются ниже раздельно для геоботанического и биогеохимического методов.

ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕБОТАНИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В процессе обработки полевых геоботанических материалов окончательно определяются ботанические индикаторы, ориентировочно намеченные на этапе подготовительных работ и уточненные в период ведения полевых исследований. Объем и число таких индикаторов для каждого региона могут быть различными, что в значительной мере зависит от детальности выполненных геоботанических наблюдений. В принципе же, в итоге камеральной обработки геоботанических данных в качестве геолого-геохимических (литоиндикационных, поисковых) индикаторов могут быть выделены следующие признаки растительного покрова:

а) растительные сообщества, характерные для конкретных местобитаний: литологических разностей горных пород, месторождений по-

лезных ископаемых определенного генезиса и состава, зон разлома и т. п.;

б) виды растений, характеризующие геохимическую специфику среды локальных, геологически, геохимически и геоморфологически однородных местообитаний;

в) приуроченность определенных жизненных форм (деревьев, кустарников, трав) к тем или иным геологическим образованиям, известным рудным месторождениям, гидротермально измененным породам и т. д.;

г) изменения иного типа: отклонения от нормального роста и развития у отдельных видов или экземпляров растений, принадлежащих к разным видам, особенности в характере распределения, обилия и проективном покрытии, наличие которых может быть обусловлено спецификой геологического строения и геохимических характеристик.

Заключительным этапом камеральной обработки полевых геоботанических материалов является составление индикационных карт — специализированных геоботанических карт, на которых контуры распространения растительных сообществ или группы признаков иного состава интерпретированы с точки зрения связи растительности с определенными горными породами или рудной минерализацией [276].

Система условных обозначений таких карт вырабатывается с расчетом сохранить все геоботаническое содержание карты и отразить индикационные связи растительного покрова с горными породами, для чего эта карта и составляется [74]. Рекомендуется, в частности, такое построение условных обозначений, при котором условный индекс (римские цифры I, I₁, I₂ на рис. 48) выражает собой геоботаническое содержание контура, а различные комбинации штриховок раскрывают индикационные связи. Например, на литоиндикационной геоботанической карте вся серия сообществ, типичных для той или иной горной породы, будет обозначена штриховкой, тогда как индексы этих сообществ различаются (см. рис. 48).

При ведении геоботанических исследований для целей геологической съемки и поисков масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) рекомендуется составлять литоиндикационные геоботанические карты и прогнозные геоботанические карты, т. е. карты, которые по растительному покрову позволяют судить о геологическом строении местности и металлогенических особенностях горных пород [74].

На литоиндикационных геоботанических картах показывается распределение в районе съемки растительных сообществ, видов и аномальных форм растений, выделенных в процессе предполевого и камерального дешифрирования материалов аэрофотосъемки, а также при опытно-методических работах и камеральной обработке как типичные (индикаторные) для определенных горных пород. Литоиндикационные геоботанические карты целесообразно составлять для условий равнинных территорий с мощной толщей современных рыхлых отложений и в сильно залесенных районах с малым количеством естественных выходов горных пород. В этих районах литоиндикационные геоботанические карты могут служить хорошим вспомогательным документом при геологической съемке (рис. 48, 49).

На индикационных геоботанических картах для поисков полезных ископаемых показывается распределение растительных сообществ, комплексов сообществ, видов и аномальных форм растений и других особенностей, характерных для участков с определенной, типичной для района рудной минерализацией (устанавливаются опытно-методическими исследованиями). Выделенные на индикационной карте участки с развитием индикаторных для рудных месторождений района растительных сообществ или видов с характерными отклонениями в морфологическом об-

лике определяются как перспективные на те или иные полезные ископаемые (см. рис. 49).

Для районов, сложных по условиям рельефа и геологическому строению, результаты геоботанических исследований изображаются графически на эколого-фитоценологических профилях. Это профили, на ко-

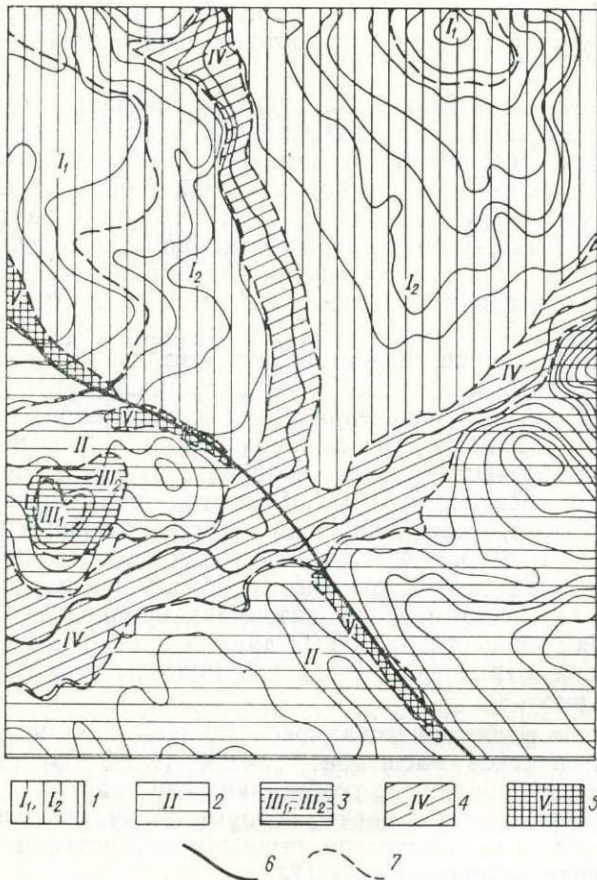


Рис. 48. Литондикационная карта (таежная зона в условиях Хабаровского края).

Растительные сообщества, типичные для отдельных литологических разностей горных пород: 1 — лишайниково-кустарничковые (I_1) и кустарничково-кустарниковые (I_2), характерные для песчано-сланцевых отложений юры; 2 — лишайниково-елово-мохово-кустарничковые леса, характерные для эффузивов; 3 — аналогичные по составу, но сильно разреженные сообщества (III_1), сопровождающиеся иногда развитием аномальных форм лишайницы (III_2), индицирующие окварцованные липариты жерловой фации; 4 — елово-тополевые травяные леса с кустарниками, приуроченные к современным аллювиальным отложениям; 5 — участки лишайникового и лишайниково-елового леса повышенного бонитета с сосуществованием эльховника, индицирующие зоны тектонических нарушений; 6 — тектонические нарушения; 7 — границы распространения растительных сообществ.

торых показано распределение растительных сообществ (видов, форм) как индикаторов геологического строения местности с учетом изменения рельефа. Вертикальный масштаб выбирается с таким расчетом, чтобы показать все особенности макро- и микрорельефа участка, горизонтальный — 1 : 25 000. По оси ординат показываются абсолютные отметки (м) положения точек геоботанических наблюдений (описаний), по оси абсцисс в выбранном масштабе отмечают расстояние между пунктами. На профиле показываются растительные сообщества (специальными услов-

ными значками для каждого вида растений), геологический разрез участка (в соответствующих условных обозначениях). Под профилем рекомендуется помещать данные о содержании в растениях и породах некоторых химических элементов.

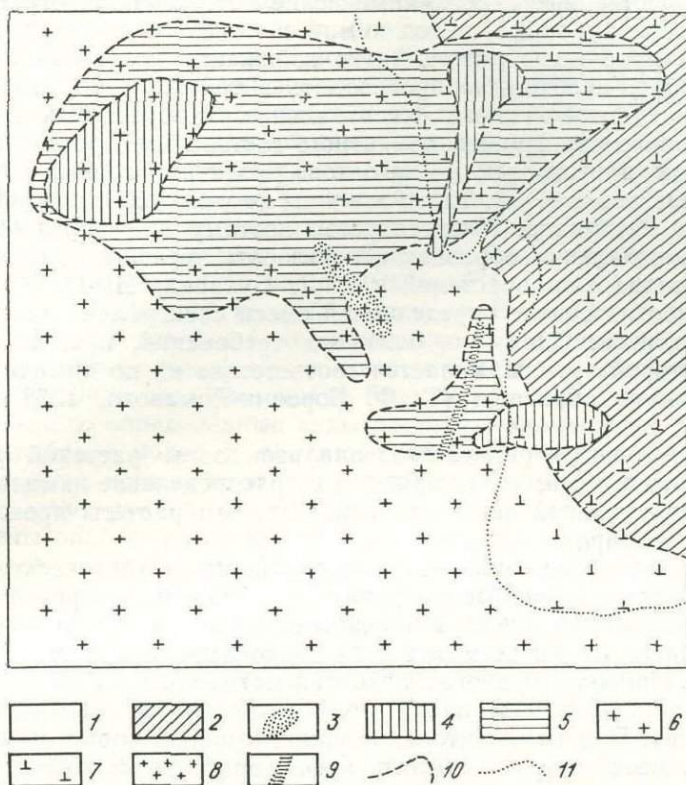


Рис. 49. Геоиндикационная карта участка, сложенного магматическими горными породами.

1—5 — растительные сообщества: 1 — сомкнутые типчаково-ковыльно-сероземно-полюнно-кустарниковые (спиря, карагана) по неизменным гранитам, 2 — разреженный биургунник с чернополюнно-кокпековыми синузиями и с камфоросмой по основным породам, 3 — типчаково-сероземно-полюнные по дайкам серицитизированных гранитов; 4—5 — разреженные сероземно-полюнно-кокпековые с биургунно-тас-биургунными синузиями (4) или разреженные сероземно-полюнно-кокпековые (5) по гидротермально измененным породам с молибденовой минерализацией; 6—9 — горные породы: 6 — неизменные граниты, 7 — основные породы, 8 — серицитизированные граниты, 9 — кварцевая жила; 10 — контуры распространения растительных сообществ; 11 — границы геологических образований.

ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В камеральный период производятся озоление растительных проб, анализ золы, расчеты ряда показателей, характеризующих распределение химических элементов в минеральной части растения; осуществляется геохимическая и металлогеническая интерпретация биогеохимических данных; составляются прогнозные биогеохимические карты.

Озоление растительных проб, предварительно обугленных в поле, производится в лабораторных условиях в муфельных печах (в фарфоровых тиглях) при $T=400 \div 500^\circ\text{C}$. В случае необходимости определения в золе растений ряда легколетучих компонентов (As, F, Hg, Sb

и др.) озоление ведут при 250—300° С, или же такие химические элементы определяются непосредственно в сухих неозоленных пробах растений [524].

Зола должна анализироваться приближенно количественным и количественным спектральными методами. Могут быть использованы и другие количественные физико-химические методы (полярнографический, нейтронно-активационный, метод химического анализа и т. д.). Повторный анализ проб золы растений (во избежание получения несопоставимых данных) необходимо производить в той же лаборатории и тем же исполнителем. Во многих спектральных лабораториях в качестве стандарта при расшифровке элементного состава золы растений используют эталоны, приготовленные на основе различных горных пород (гранитов, пегматитов и т. д.). Такие эталоны не учитывают специфики биологического материала. Рекомендуется поэтому при определении элементов в растительных образцах использовать эталоны, приготовленные либо на основе золы растений (П. Д. Бухарин, Н. Н. Колесников, 1968 г.), либо на основе определенной смеси спектрально чистых химических реактивов. Одним из основных требований, предъявляемых к эталонам второй группы, является соответствие их по химическому составу реальным образцам (Т. Ф. Боровик-Романова, 1968 г.), [121. 412].

После получения результатов анализов золы растений рассчитывают ряд показателей, характеризующих распределение химических элементов в минеральной части растений. Все эти расчеты производят по двум типам выборок.

Выборки первого типа — это совокупности аналитических данных по пробам золы растений одного вида, отобранным в пределах одного элементарного ландшафта: в пределах определенной литологической разности пород (в районах развития осадочных образований), определенного типа пород (в районах развития магматических образований) и определенного комплекса пород (в районах развития осадочно-вулканогенных толщ). При комплектовании таких выборок кроме геологического фактора необходимо учитывать и фактор геоморфологический, т. е. в выборку должны объединяться пробы одного вида растения, отобранные в условиях однотипного рельефа (водораздел, склон, речная долина). В горных районах принимается во внимание и экспозиция склона. Каждая такая выборка должна состоять не менее чем из 30 проб, независимо от площади распространения того или иного типа характеризующих геологических образований.

В выборки второго типа объединяются аналитические данные проб золы того же вида растения, отобранные в пределах определенной геохимической провинции. Количество проб в такой выборке заранее оговорить невозможно: в ней каждый из биогеохимически охарактеризованных локальных элементарных ландшафтов должен быть представлен пропорционально распространенности его в провинции. Причем за единицу берется наименее распространенный элементарный ландшафт, распространение всех прочих элементарных ландшафтов пропорционально рассчитывается. На основе такого расчета составляется генеральная «региональная» выборка.

Для каждой выборки (первого и второго типа) вычисляются средние содержания и дисперсии, определяющие степень равномерности распределения содержания химических элементов. Вычисления средних содержаний и дисперсии производятся с использованием методов математической статистики. Целесообразно определять эти параметры графическим способом с использованием вероятностного трафарета [182, 391].

Средние содержания химических элементов, установленные по выборкам первого типа, характеризуются как локальные средние содер-

жания элементов в растениях, а средние содержания, установленные по выборкам второго типа, — как региональные кларки растений. Для ряда районов региональные кларки растений достаточно обоснованно рассчитаны [276]. При отборе в пределах отдельных (или одного) элементарных ландшафтов по 30 и более проб разнородного биологического материала (разных видов растений, разных их частей, подстилки, опада и т. д.) в итоге соответствующей обработки аналитических данных получается большой фактический материал для характеристики локальных средних содержаний химических элементов. Этот материал целесообразно представить в виде таблиц или гистограмм для каждого из биогеохимически охарактеризованных элементарных ландшафтов.

Путем сопоставления таких локальных средних со средними пород (или почв) характеризуемого участка производится оценка относительной биогеохимической показательности различных биогеохимических проб. При малом числе точек опробования можно сравнивать между собой и результаты анализа различных проб (опада, подстилки, растений, почв, пород) каждой из точек отдельно. В результате такого критического анализа данных биогеохимического и геохимического (почв, пород) опробования выявляются объекты с наибольшей биогеохимической показательностью. Ими могут быть и растительная подстилка, и опад, и какие-то определенные виды растений, элементный состав золы которых наиболее полно и правильно отображает химический состав субстрата (почв, горных пород) и все закономерные изменения его (например, наличие рудной минерализации). Установленные таким способом объекты определяются как биогеохимические индикаторы (факультативные концентраторы, С. М. Ткалич, 1965 г.), [419]. Они рекомендуются в качестве основного объекта опробования при проведении биогеохимических исследований с целью поисков рудных месторождений в процессе изучения перспективных площадей.

Анализ большого фактического материала биогеохимических исследований позволяет утверждать, что часто в качестве критериев металлогенических и геохимических характеристик горных пород выступает не какой-то отдельный химический элемент, а определенная группа совместно встречающихся здесь элементов, иначе говоря, биогеохимическая ассоциация химических элементов. Под ассоциацией химических элементов понимаются природные их сочетания, обусловленные геологической историей и физико-химическими процессами, идущими в земной коре [432, 449].

Одной из главных задач биогеохимических исследований при геологических съемках масштаба 1 : 50 000 является выявление таких ассоциаций и их приуроченности к определенным геологическим объектам. Под биогеохимической ассоциацией химических элементов понимается совокупность элементов, находящихся в растениях локального местобитания (элементарного ландшафта) в положительно аномальных концентрациях (минимально, средне- и максимально аномальных).

Биогеохимические ассоциации элементов могут быть определены следующими методами: а) коэффициентов концентрации элементов в системе растения элементарного ландшафта — растения региона в целом; б) кларков концентрации элементов в системе растения — порода; в) многократной корреляции [53, 54]; г) факторного анализа [276, 233, 156, 112, 244, 95].

Результаты региональных (площадных) биогеохимических исследований необходимо представлять в виде прогнозных биогеохимических карт, которые составляются на геологической основе или в виде калек, накладываемых на геологическую основу масштаба 1 : 25 000. Карты могут быть моно- или полиэлементными.

Моноэлементная карта — это карта изоконцентрат. На ней изолиниями выделяются участки с одинаковыми абсолютными содержаниями

того или иного химического элемента в золе одного вида растения. Такие карты в виде ряда накладок можно составлять с целью оконтуривания участков, перспективных для поисков руд определенных минеральных формаций или отдельных элементов, например для поисков полиметаллических руд сфалерит-галенитовой формации или руд меди в пределах металлогенической зоны с медноколчеданной минерализацией и т. д.

Наиболее высокие содержания одного или ряда ведущих элементов руд, поиски которых проводятся в этом районе, могут быть обусловлены разными причинами, в том числе и наличием в породах рудной минерализации. Во избежание ошибок в прогнозах по биогеохимическим данным такие карты не следует составлять для элементов биологического поглощения так же, как и для элементов с малой степенью соответствия концентраций в системе растения — породы. Высокие содержания первых могут иметь накопительную в водах и растениях природу, а низкие вторых — обусловлены недостаточной поглотительной способностью к ним растений [276].

Более полную информацию о геохимической специфике горных пород района и их металлогенических характеристиках дают *полиэлементные карты*. К ним относится карта коэффициентов концентрации ряда элементов только в растениях и карта кларков концентрации элементов в системе растения — породы. На полиэлементных картах коэффициентов концентрации, в отличие от карт изоконцентрат, содержания элементов в растениях характеризуемого участка показываются не в абсолютных значениях, а в значениях, кратных видовому региональному среднему содержанию в растениях (С. М. Ткалич, 1961 г.), [271, вып. 11].

Способ выражения содержаний элементов в коэффициентах концентрации позволяет едиными изолиниями оконтуривать участки опробования различных видов растений, так как сравнение отдельных (попунктных) значений содержаний элементов производится с видовыми средними концентрациями их. Для составления карты рассматриваемого типа вначале составляется рабочая карта фактического материала. На этой карте для каждого из пунктов биогеохимического опробования определяется и записывается в виде геохимической формулы биогеохимическая ассоциация элементов, установленная методом коэффициентов концентрации. В дальнейшем пункты со сходными по элементному составу и по коэффициентам концентрации элементов биогеохимическими ассоциациями объединяются в группы. Участки распространения различных по степени аномальности и элементному составу биогеохимических ассоциаций (биогеохимические аномалии) отделяются друг от друга границами. Участки, в пределах которых коэффициенты концентрации химических элементов в растениях колеблются от 1,5 до 10,0, оцениваются как слабые биогеохимические аномалии, а где достигают 10,0 и более — как интенсивные [276, 419].

В целях решения геохимических задач выявленные биогеохимические аномалии классифицируются, выделяются аномалии вероятно металлогенной природы, установленные по различным элементам руд: а) ведущим, б) ведущим и второстепенным, в) второстепенным, г) сопутствующим, д) ведущим и сопутствующим, е) сложного состава.

Во избежание ошибок в прогнозах по биогеохимическим данным полиэлементные биогеохимические карты коэффициентов концентрации необходимо составлять только по видам — биогеохимическим индикаторам, не учитывая растений — селективных (видовых) аккумуляторов и однолетних растений с поверхностной системой корней. В случае составления таких карт по видам растений-аккумуляторов тех или иных химических элементов, особенно рудных элементов, есть опасность выделения в пределах характеризуемого участка не металлогенных (истин-

ных) биогеохимических аномалий, а аномалий биогенных, накопительных (ложных).

При изучении распределения химических элементов в однолетних растениях, особенно в условиях ландшафтов аккумуляции, получаем фактически информацию о накоплении (биогенном, за счет инсоляции и т. д.) химических элементов в самых верхних (5—10 см) частях рыхлых отложений, а не о характере распределения и концентрации химических элементов в подстилающих горных породах. Поэтому следует весьма осторожно подходить к геохимической и металлогенической интерпретации такого критерия, как интенсивность биогеохимических аномалий, на картах коэффициентов концентрации. Очевидно, что на таких картах наиболее интересны биогеохимические аномалии, выделенные по химическим элементам, распространенным в системе порода — растение с высокой степенью соответствия.

Биогеохимические аномалии, выделенные по химическим элементам биологического поглощения, равно как и по химическим элементам, распространенным в системе порода — растение с малой степенью соответствия, могут быть использованы для геохимических и металлогенических характеристик горных пород с учетом поправок на геохимическую активность элементов [276].

На *полиэлементных картах кларков концентрации* содержания элементов в растениях показываются также не в абсолютных значениях, а в концентрациях, кратных кларкам соответствующих генетических разностей горных пород и кларкам сульфидов с учетом и региональных средних растений. Составляются такие карты на основании данных биогеохимического опробования однородного материала — одного и того же вида растения или в крайнем случае видов, близких по систематическому положению и биолого-экологическим свойствам. Для составления карты рассматриваемого типа вначале также составляется рабочая карта фактического материала (рабочая карта кларков концентрации). На этой карте для каждого из пунктов биогеохимического опробования или серии однородных пунктов (по осредненным данным) определяется и записывается в виде геохимической формулы биогеохимическая ассоциация элементов, установленная методом кларков концентрации [271, вып. 11].

Степень аномальности содержания (категории концентрации) элементов в растениях в геохимической формуле показывается так: химические элементы в максимально аномальных концентрациях записываются первыми в виде индексов элементов без скобок; химические элементы, содержащиеся в растениях в средне аномальных концентрациях, записываются за элементами с максимально аномальными концентрациями в круглых скобках. Химические элементы с минимально аномальными концентрациями записываются в геохимической формуле последними и заключаются в квадратные скобки. Элементы с фоновыми концентрациями в состав формулы не включаются.

На основании рабочей карты кларков концентрации создают прогнозную карту кларков концентрации, на которой показывают поля распространения однотипных по геохимическим формулам биогеохимических ассоциаций с оценкой степени аномальности концентраций элементов в системе породы — растения в пределах таких полей (биогеохимические аномалии, ореолы и биогеохимический фон). Выделенным на карте биогеохимическим полям в дальнейшем дается геохимическое и металлогеническое истолкование, приводятся доказательства связи тех или иных полей с определенными литологическими разностями горных пород, разломами, потенциально перспективными на руды участками и т. д.

Геолого-геохимическую интерпретацию биогеохимических данных можно осуществлять и с помощью методов математического анализа:

многократной корреляции [39, 53, 54] и главных компонент факторного анализа (Л. Н. Дуденко, 1971 г.), [156, 402, 506, 489, 500, 529, 510, 233].

Обработка биогеохимических данных с помощью метода главных компонент факторного анализа позволяет определить главные «факторы» изменчивости химического элементного состава золы растений в пределах характеризуемой территории. При наличии на этой площади рудной минерализации в числе главных «факторов» изменчивости будут выступать и так называемые «рудные»: $\pm W$, Sn, Bi...; $\pm Mo$, W, Y, Be, Bi...; $\pm Zn$, Pb, Ag, Ba...; $\pm As$, Sb, Pb...; $\pm Ni$, Co, Cu...; $\pm Fe$, Mn, Si, Pb, As, Sb... и др. Элементный состав таких «факторов» отразит имеющуюся здесь рудную минерализацию (редкометалльную, полиметаллическую, сурьмяную и т. д.), а показ распределения их по площади даст возможность выделить соответствующие геохимические аномалии.

Наряду с «рудными» в числе главных выделяются «факторы» (а по их распределению по площади и участки) биогенного накопления ($\pm Ca$, Mg, P, K...; $\pm Ca$, Mg, Sr, P...; $\pm Mg$, P, Ti...; $\pm Sr$, Mg...), сорбционный ($\pm Na$, Cl; $\pm Na$, K...; $\pm Mo$, Sr, Zn...; $\pm V$, Sc, Zr, Be, Mo...; $\pm P$, Sr, B, Ba...) и некоторые другие.

Безусловно, что для правильной интерпретации результатов метода главных компонент факторного анализа требуется тщательный критический анализ всего имеющегося в распоряжении исследователя картографического материала — геологической, геоморфологической, гидрологической карт, сведений о тектонике, о геофизических аномалиях и о почвенно-растительном покрове.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДНА АКВАТОРИЙ

В настоящее время ведется подготовка к организации планомерных геологосъемочных работ на перспективных с точки зрения полезных ископаемых участках континентального шельфа СССР. Ряд организаций уже проводит поисково-съемочные работы в опытно-методическом и опытно-производственном плане, а также специализированные средние и крупномасштабные геологические съемки морского дна для решения инженерно-геологических и других задач.

Морская геологическая съемка, особенно в среднем масштабе, получила широкое развитие за рубежом (Франция, Великобритания, Япония, США и др.). Крупномасштабные поисково-съемочные исследования ведут многие частные предприниматели в целях создания геологической основы для нефтепоисковых работ и поисков россыпей на морском дне. В связи с тем, что геологической съемкой мелких и средних масштабов покрыты незначительные площади акваторий, крупномасштабное (1:50 000, 1:25 000) и детальное геологическое картирование дна акваторий, выполняемое для решения практических задач, как правило, ставится минуя стадию картирования в более мелком масштабе.

Основные задачи крупномасштабной геологической съемки дна акваторий — специализированное изучение геологического строения и инженерно-геологических условий подводных площадей, а также выявление прямых признаков полезных ископаемых, в особенности нефти и газа и подводных россыпей. Специфической особенностью геологических работ в море является наличие слоя воды, затрудняющего непосредственное изучение дна. Сбор геолого-геофизической и геоморфологической информации, за исключением наблюдений, выполняемых аквалангистами, осуществляется с помощью специальной аппаратуры и оборудования, устанавливаемых на плавсредствах, надводных носителях и индивидуальных основаниях. Это приближает геологическое картирование в море к картированию глубинных горизонтов в одноярусных, а также второго и третьего ярусов в многоярусных районах суши.

Крупномасштабные геологические карты дочетвертичных образований дна акваторий строятся на литолого-стратиграфическом принципе, с выделением местных стратиграфических подразделений — серий, свит, толщ и интрузивных комплексов, аналогичных подразделениям, установленным в смежных участках суши. Карты четвертичных отложений дна акваторий составляются на основе выделения стратиграфо-генетических или вещественно-генетических подразделений с более детальным фаціальным делением современных морских отложений.

На площадях дна, где наряду с обнажениями дочетвертичных пород наблюдаются обширные пространства, покрытые мощными четвертичными отложениями, картируются как серии, свиты, толщи и комплексы древних пород, так и стратиграфо- и вещественно-генетические типы четвертичных, главным образом современных, отложений. В пределах распространения четвертичных отложений на картах целесообразно показывать контуры геологических структур, выявленных геофизическими методами.

Комплексная геологическая съемка дна акваторий включает как собственно геологические, геофизические и геоморфологические исследования, так и опережающие или обеспечивающие их работы.

ОПЕРЕЖАЮЩИЕ РАБОТЫ

К опережающим работам, выполняемым еще до производства собственно крупномасштабного геологического картирования, относятся традиционные геофизические съемки (аэро- и гидромагнитная, гравиметрическая, сейсморазведочная) и предварительное дешифрирование материалов аэрофото- и аэрокосмических съемок, а также гидрометеорологические наблюдения (режимы ветра, волнений, течений, гидрохимия и биология водной среды). *Опережающие геофизические работы* позволяют устанавливать аномалии физических полей, связанные с глубинным строением дна.

Аэромагнитная и гидромагнитная съемки регистрируют магнитные свойства геологических тел, позволяют выявлять их форму и глубину залегания. Особое значение аэромагнитная съемка приобретает при картировании полосовых магнитных аномалий, часто связанных с крупными разломами, по которым происходит внедрение основных или ультраосновных пород. Смещение отдельных участков полосовых аномалий допускает прослеживание поперечных и диагональных разломов иногда на сотни и даже тысячи километров. Аэромагнитная съемка в некоторых случаях дает возможность отбивать границы и прослеживать по простиранию горные породы, отличающиеся магнитной восприимчивостью.

Морская гравиметрическая съемка в надводной и донной модификациях позволяет получать сведения о глубинном строении, выявлять в закрытых районах погребенные антиклинальные структуры или интрузивные тела и разрывные нарушения.

Морские сейсморазведочные работы (МОВ, МОВ УЛ) имеют первостепенное значение при изучении геолого-структурного строения шельфа и выявлении нефтегазоносных структур. По результатам опережающих геофизических исследований, проводимых в порядке подготовки площади морского дна для крупномасштабной геологической съемки, составляются геофизические (магнитные, гравиметрические) карты и схемы соответствующих масштабов, строятся сейсмогеологические профили, а также проводится предварительная геологическая интерпретация полученных материалов с целью выяснения наиболее общих черт геологического строения.

Предварительное дешифрирование материалов аэрофото- и космических съемок (аэрофото-, радиолокационных, инфракрасных, а также космических фотографий и телевизионных снимков, получаемых с космических носителей) позволяет получать предварительную геолого-геоморфологическую информацию, составлять предполевые карты, устанавливать участки с обнажениями дочетвертичных пород и площади преимущественного распространения рыхлых отложений, выявлять различные формы рельефа, наличие подводной растительности и т. д. Дешифрирование изображений объектов на поверхности моря иногда допускает возможность получения сведений о некоторых особенностях строения дна и процессах, протекающих в его недрах, которые могут быть проверены в процессе собственно геологосъемочных работ различными методами.

ПОЛЕВЫЕ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ

Полевые геологосъемочные работы выполняются с судов, оборудованных орудиями механического сбора образцов — пробоотборниками (дночерпателями, грунтовыми прямотечными и вибропоршневыми трубками, драгами и т. п.), буровой установкой, акустическими приборами, снаряжением для водолазных работ и аппаратурой для подводного

фотографирования. Желательно также иметь на борту подводную телевизионную установку и аппаратуру для морской электроразведки, гамма-съемки, гидромагнитных исследований.

ГИДРОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

При геологосъемочных работах крупного масштаба особое значение приобретает точность определения положения судна в море в момент выполнения тех или иных наблюдений. Уже на этапе подготовки площади для проведения крупномасштабной геологической съемки морского дна необходимо прежде всего разбить сеть пунктов топографической привязки наблюдений для работ соответствующего масштаба. Сюда же должна входить разбивка сети, планируемой для применения радиогеодезической системы (РГС), и подготовка специальных картографических материалов. При необходимости на этапе подготовки площади выставляются створные знаки и якорные буи.

В прибрежных участках шельфа в пределах видимости береговых ориентиров местоположение судна в море определяется способом прямой или обратной засечек. Прямая засечка корабля в море осуществляется с берега при помощи двух или трех теодолитов, стоящих на опорных пунктах. При проведении профиля (галса) по створным знакам можно обходиться одним теодолитом, при этом наблюдатели на берегу ведут измерения по сигналу с судна. Обратная засечка производится с судна путем измерения секстаном двух (лучше трех) смежных углов между тремя (четырьмя) береговыми ориентирами, отстоящими один от другого не менее чем на 5° . Точка стояния судна наносится на карту с помощью протрактора. В случае недостаточного числа ориентиров определение может быть выполнено с помощью пеленгатора на судовом компасе и оптического дальномера на борту судна. Местоположение судна в море находится по измеренному азимуту на ориентир и расстоянию до него.

При отсутствии ориентиров определение места судна в море осуществляется путем счисления, при помощи радиогеодезических средств или астрономическим путем [149]. Из радиогеодезических средств могут быть рекомендованы системы «Поиск» и «Чайка». Система «Поиск», состоящая из четырех обеспечивающих радиостанций на суше и одной приемной на судне, осуществляет надежную привязку для крупномасштабного картирования в радиусе 50 км. Система «Чайка» состоит из задающей станции на судне и двух отражающих на берегу. Обеспечивает достаточную точность определения местоположения судна на расстоянии 130 км.

ПОЛЕВОЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

В комплексе методов, применяемых при крупномасштабном геолого-геоморфологическом картировании шельфа и особенно его прибрежного мелководья (внутреннего шельфа), полевое дешифрирование материалов аэрокосмических съемок может иметь существенное значение. На материалах аэрокосмических съемок шельфа местами изображаются картируемые объекты дна и поверхность воды с объектами, которые индицируют некоторые особенности строения дна или процессы, протекающие в его недрах.

Полевое дешифрирование материалов аэрофото- съемки дна. Аэрофотосъемка дна акваторий позволяет получать плановое изображение подводных объектов дна и видеть их аэрофото- графические модели. По этим моделям можно достоверно устанавли- вать наличие и распространение картируемых объектов на относительно обширных площадях акваторий, для которых представляется возмож- ным составить детальные и хорошо обоснованные геологические карты, а также установить закономерную зависимость рельефа и других ком- понентов ландшафта дна от геологического строения [127, 128].

Выявленные на таких участках закономерности могут быть исполь- зованы при картировании площадей шельфа, для которых по тем или иным причинам нельзя получить аэрофотоизображение дна. Таким об- разом, дешифрирование материалов аэрофотосъемки даже на отдель- ных изолированных участках значительно облегчает выполнение геоло- госъемочных работ на других площадях шельфа. Особое значение ма- териалы аэрофотосъемки морского дна приобретают при картировании прибрежных мелководий (до глубин моря 30 м), поскольку именно эта зона моря недоступна для глубоководных судов, с которых обычно выполняются геолого-геофизические исследования внешнего шельфа, и в то же время эта зона представляет наибольший интерес для хозяй- ственного освоения, и в первую очередь для поисков, разведки и добычи полезных ископаемых [463]. Полевое дешифрирование аэро- фотоизображений, выполненное в этой «мертвой зоне», позволяет увя- зать данные, собираемые на внешнем шельфе, с геологическим строе- нием прибрежных частей суши. В связи с этим при геологическом кар- тировании дна прибрежных мелководий производство аэрофотосъемоч- ных работ следует считать обязательным.

Современные технические средства аэрофотосъемки позволяют по- лучать аэрофотоизображение морского дна при глубинах моря, превы- шающих прозрачность воды, измеренную диском Секки—Коцебу, на 20—25%. Практически аэрофотоизображение морского дна получено при глубинах, м: на Балтийском море—11, Каспийском море—22, Черном море—26, на оз. Байкал—40. В результате аэрофотоизображение мор- ского дна обычно характерно для полосы прибрежного мелководья ши- риной от нескольких сотен метров до первых десятков километров. Кроме того, изображение дна получается в пределах изолированных мелководных банок и островных шельфов.

Несмотря на ряд искажений на аэрофотоснимках, связанных с не- большим наклоном оптической оси в момент экспозиции, преломлением световых лучей на границе вода—воздух, снимки морского дна прак- тически являются его планом и поэтому могут быть использованы как картографическая основа при геологическом картировании.

Наиболее существенный этап геологосъемочных работ, выполняе- мых с использованием материалов аэрофотосъемки дна акваторий,— установление признаков дешифрирования подводных геологических объектов, а равно и компонентов ландшафта дна, которые могут слу- жить их индикаторами. Признаки дешифрирования устанавливаются путем изучения объектов в береговой зоне суши и их прослеживания на подводном склоне, а также непосредственным изучением участков дна, изобразившихся на аэрофотоснимках, с помощью приборов, уста- новленных на экспедиционных судах, или при водолазных погружениях.

Для геологосъемочных работ необходимо тщательно устанавливать признаки дешифрирования, по которым могут быть опознаны горные породы различного вещественного состава и возраста, поскольку в этом случае по фотоизображениям можно нанести на карту распространение на дне различных литолого-стратиграфических подразделений. Примером может служить составленная из эталонных снимков колонка (рис. 50), отражающая литолого-стратиграфический разрез, породы ко-

Четвертичная система		Современные отложения		Древнекаспийские отложения		Q _{IV}		Q _{I-III}		Q _{IV}		Q _{IV}		Q _{IV}							
Неогеновая система	П л и о ц е н	П л о щ а	Продуктивная толща	Верхний отдел	Апшеронский ярус	Ar	90-605							а-песчано-ракушечные грунты	б-глинистые грунты	в-литифицированный грунт					
					Акчагальский	Ак	35-70										а-конгломераты	б-известняки	в-глины		
					Средний отдел	BO ₃	600-1400											Глины, детритусовые известняки, пески			
						BO ₂	270-330											Глины, алевриты, пески			
						BO ₁	350-360											Глины, алевриты, пески			
						CO	60-110											Песчаники, пески, глины			
						CKГ	110-140											Конгломераты, песчаники, пески, глины			
						CKП	17-70											Глины			
						КС	230-330											Песчаники, пески с прослоями глин			
						ПК	0-175												Глины, алевриты с редкими прослоями песчаников		
						Кас	0-323												Песчаники и пески с редкими прослоями глин		
						Рп	0-348												Пески и песчаники с прослоями глин		
					Миоцен	Датомский слой	Понтийский ярус	Нижний отдел	Рп	0-348								Глины с прослоями песка и песчаника			
Д	До 300														Глины						
																	Глинистые сланцы, листоватые глины, расланцованные аргиллиты, мергели				

Рис. 50. Характерные аэрофотоизображения выходов различных горных пород на морском дне Приапшеронского района Каспийского моря, расположенные в стратиграфической последовательности.

торого слагают дно подводного склона Приапшеронского района Каспийского моря.

Камеральное и особенно полевое дешифрирование аэрофотоснимков позволяет помимо нанесения на карту различных комплексов пород получить многие исходные данные, необходимые для геологического картирования дна. В частности, при четко выраженных на снимках границах отдельных стратиграфических подразделений представляется возможным измерять горизонтальные, а при известных углах падения и истинные мощности пород, и, наоборот, при известных истинных мощностях можно рассчитать углы падения пластов; на снимках могут быть установлены стратиграфические и угловые несогласия, разрывные нарушения, отдельные элементы складок или целые складчатые структуры, генетические типы рельефа и т. д. [128].

Таким образом, дешифрирование аэрофотоснимков, сопровождающееся отбором образцов со дна водоемов и исследованиями с помощью различных технических средств, позволяет составить достаточно детальные геологические карты отдельных участков шельфа. На рис. 51, а приведен аэрофотоснимок одного из участков Каспийского моря, а на рис. 51, б — составленная по нему геологическая карта. На аэрофотоснимке достаточно четко отобразились разными рисунками комплексы пород, слагающие свод и крылья антиклинальной складки. Хорошо видно сходство рисунков, отражающих породы одних и тех же литолого-стратиграфических подразделений, но слагающих разные крылья складки (Г, В, Б). Обработка собранного каменного материала и данные замеров элементов залегания пластов позволяют установить возраст выделенных стратиграфических подразделений.

При геологическом картировании с использованием материалов аэрофотосъемки необходимо выделять маркирующий рисунок фотоизображения, который должен быть достаточно характерным, легко узнаваемым и отражать породу или комплекс пород, вещественный состав, структурно-текстурные особенности и положение которых в нормальном стратиграфическом разрезе района точно известны. Наличие таких фотомаркирующих горизонтов значительно облегчает процесс дешифрирования и составление карт на участках дна, для которых имеется фотоизображение.

В качестве примера приведем геологическую карту морской антиклинальной складки о. Жилого на Каспийском море (рис. 52), составленную в результате полевого дешифрирования аэрофотоснимков морского дна. Для этой же площади была составлена геологическая карта на основе картировочного бурения. На аэрогеологической карте удалось закартировать четырнадцать литолого-стратиграфических подразделений вместо пяти, выделенных на карте, составленной на основе картировочного бурения. Стоимость же аэрогеологической карты составляет 27,3% от затрат, израсходованных на буровые работы [462].

Дешифрирование космических фотографий и телевизионных снимков в принципе не отличается от дешифрирования аэрофотоизображений. Свообразие космических снимков заключается в их мелкомасштабности, определяющей генерализацию изображений, а следовательно, отражение только наиболее крупных объектов, охват обширных площадей акваторий и увеличение обзорности. Кроме того, при специализированных съемках акваторий из космического пространства можно полагать, что изображение дна будет получено для больших глубин акватории по сравнению с аэрофотосъемкой, хотя трудно ожидать, что такое увеличение глубинности превзойдет 100 м [464]. Охват больших площадей акваторий и обзорность космических снимков допускают возможность выявления неизвестных ранее участков мелководий и изолированных банок, что позволяет локализовать площади для проведения работ другими методами морской геологии.

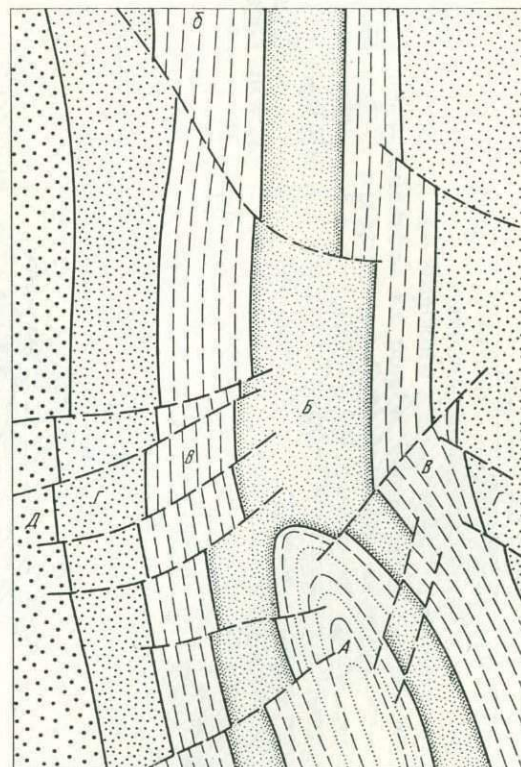
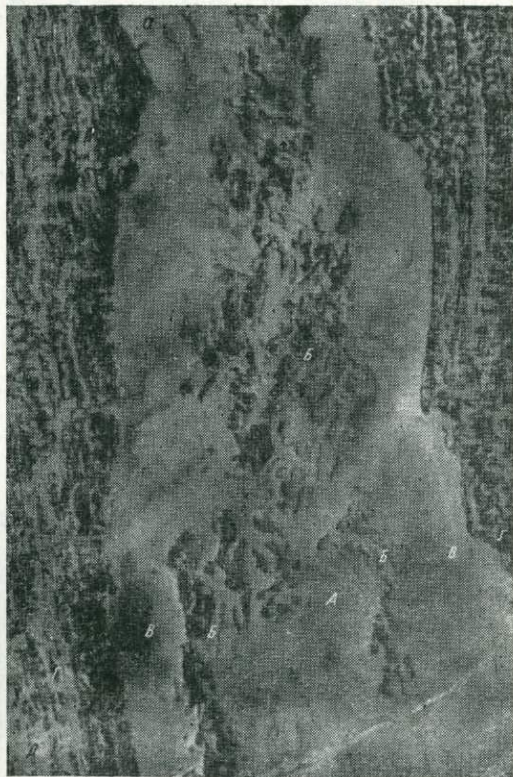


Рис. 51. Аэрофотоснимок морского дна (а) и схематическая геологическая карта (б), составленная на основе его полевого дешифрирования.

Особое значение при дешифрировании космических снимков приобретает анализ изображений объектов и явлений на поверхности акваторий. Некоторые из них могут косвенно индцировать строение дна или процессы, протекающие в его недрах. Например, подводные извержения вулканов, в том числе и псевдовулканов (грязевых), вызывают

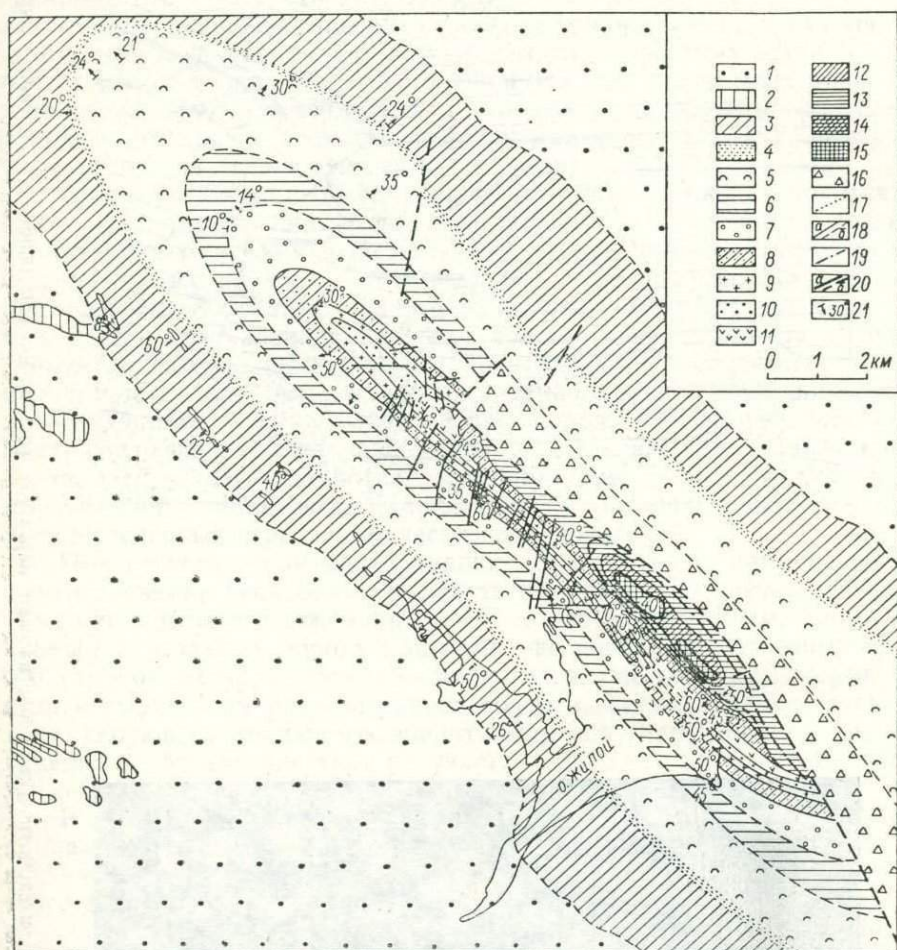


Рис. 52. Схематическая геологическая карта антиклинальной складки о. Жилого.

1 — современные осадки; 2 — древнечетвертичные отложения; 3 — апшеронский ярус; 4 — акчагыльский ярус; 5—13 — свиты продуктивной толщи (средний плиоцен): 5 — сураханская, 6 — сабунчинская, 7 — балаханская, 8 — «перерыва», 9 — надкирмакинская глинистая, 10 — надкирмакинская песчаная, 11 — кирмакинская, 12 — подкирмакинская, 13 — калинская; 14 — понтический ярус; 15 — диатомовая свита; 16 — зона брекчированных пород; 17 — границы между выделенными стратиграфическими подразделениями, нанесенные по данным картовочного бурения; 18 — границы, нанесенные по данным дешифрирования аэрофотоизображений: а — достоверные, б — предполагаемые; 19 — предполагаемая граница между верхней и нижней подсвитами калинской свиты; 20 — линии дизъюнктивных нарушений: а — достоверные, б — предполагаемые; 21 — угол и направление падения пластов.

образование фонтанов, выбросов дыма, пеплового материала и сопочной брекчии, что приводит к помутнению и загрязнению поверхности воды, образованию скоплений плавающей пемзы и т. д., а иногда и к возникновению новых островов. Наличие положительных форм рельефа дна обуславливает поднятие донных вод, богатых питательными веществами, что способствует пышному расцвету фитопланктона, определяющего желтоватую окраску воды. В результате по фототону, отражающему окраску и загрязнение поверхности воды, можно устанавливать на дне наличие подводных вулканов, возвышенностей или уступов, нередко

связанных с разломами. Рельеф дна оказывает влияние и на изменение параметров волнения, что также находит отражение на космических снимках. Окраска воды и характер волнения меняются на участках подводной разгрузки подземных и ювенильных вод и т. д. (В. В. Шарков, З. И. Гурьева, 1977 г.).

Радиолокационная съемка дает дополнительную информацию к данным, снимаемым с аэрофотоснимков при изучении прибрежных участков суши. Кроме того, на РЛ-аэроснимках фиксируются некоторые особенности взволнованной поверхности моря, по которым можно судить о рельефе морского дна, а также нефтяные пятна, которые в случае устойчивого их положения на поверхности моря могут свидетельствовать о возможной нефтеносности морского дна.

Инфракрасная (тепловая) съемка на мелководье косвенным образом может отражать рельеф дна (по изменениям температуры воды на поверхности, связанным с различным прогреванием ее над более мелкими и глубокими участками водоема), а также позволяет устанавливать места разгрузки подземных и ювенильных вод, изучать морские течения и т. п. В прибрежных участках суши тепловые снимки дают аэроизображения, аналогичные аэрофотографическим, но отражающие изменения тепловых свойств объектов поверхности Земли. Они позволяют опознавать породы разного вещественного состава, наличие дизъюнктивных и пликативных нарушений и т. д.

К числу методов морской геологии, используемых при морских геологосъемочных работах, относятся: сбор образцов со дна пробоотборниками и посредством бурения, акустические исследования, водолазные работы, подводное фотографирование, подводное телевидение, геоморфологическое и ландшафтное изучение дна, а также различные геофизические методы (морская электроразведка, гамма-съемка, гидромагнитная съемка, а в отдельных случаях на перспективных на нефть площадях — детальная сейсморазведка и гравиметрическая съемка), применяемые с борта судна или при подводных наблюдениях.

СБОР ОБРАЗЦОВ С МОРСКОГО ДНА

Сбор образцов с морского дна осуществляется с помощью дночерпателей, драг, различных грунтовых и вибропоршневых трубок, а также бурения.

Дночерпатели позволяют поднять со дна большей частью рыхлые отложения (илы, ракушу, песок, гравий, гальку, угловатые обломки), реже — образцы скальных горных пород. С помощью дночерпателей представляется возможным относительно быстро получить прямую информацию о геологическом строении поверхности морского дна, сложенной рыхлыми породами (осадками). Этот вид пробоотбора позволяет выбирать образцы так называемого донного каменного материала (ДКМ), как занесенного, так и местного происхождения. При благоприятных условиях дночерпатель, особенно его тяжелые конструкции типа «Океан-0,25 м²», позволяет откалывать образцы коренных пород при контакте с их выходами (обнажениями) на морском дне. По характеру рыхлых отложений (петрографическому составу гальки, ее окатанности и т. п.), а также по небольшим обломкам пород, поднятым этими приборами, удается с известной долей вероятности судить о наличии и распространении на дне коренных пород. Критериями того, что поднятые образцы отражают близкое залегание подстилающих коренных пород, являются: 1) общая угловатость обломков; 2) обилие обломков одного и того же состава (при значительном перемещении материала донный поток наносов получает питание за счет различных источников, в связи с чем состав рыхлых отложений бывает полимиктовым); 3) наличие в обломках свежих трещин и изломов; 4) присут-

ствии обломков хрупких и слабо консолидированных пород; 5) большой размер отдельных обломков, не несущих следов перемещения. О распространении на дне цементированных коренных пород могут свидетельствовать поднятые дночерпателем организмы сидячего бентоса или водоросли, а также зарубки на краях приборов.

Драги легких конструкций используются для взятия рыхлых современных отложений в процессе дрейфа судна. Поднятые образцы характеризуют состав рыхлых отложений, фауну и флору, распространяемых на площади драгирования. Тяжелые драги, например конструкции Б. И. Васильева, при пересеченном рельефе дна (наличии подводных каньонов, уступов и т. п.) могут отрывать скальные породы. Отрыв пород от коренных выходов осуществляется при движении судна по нормали к склону каньона или уступа.

Гравитационные, вибрационные и прочие трубки позволяют поднимать со дна колонки рыхлых, чаще всего современных, отложений и в некоторых случаях слабосцементированные коренные породы (глины, аргиллиты, пески, реже мергели и рыхлые песчаники). Изучение колонок допускает возможность судить о стратиграфических взаимоотношениях рыхлых отложений и их вещественном составе. На участках дна с маломощным покровом современных отложений и преимущественно глинистым разрезом подстилающих пород с помощью грунтовых трубок, не говоря уже о вибропоршневых, во многих случаях можно получить керн пород в достаточном объеме для микрофаунистического, палинологического, диатомового, минералогического и других анализов; иногда же удается достать породы, которые содержат остатки микрофауны. Сравнительная простота работы с грунтовыми трубками делает их удобными для целей геологической съемки в районах, характеризующихся преимущественно глинистым разрезом. Глубина проходки вибропоршневыми трубками при благоприятных условиях достигает 4—5 м. Вибрационные трубки и специальные вакуумные пробоотборники существуют для изучения песчаных отложений на морском дне.

Буровые установки, применяемые с плавсредств, со льда или индивидуальных свайных оснований и эстакад, позволяют получать ту же информацию, что и бурение на суше. Бурение с плавсредств (катеров, понтонов, плавучих буровых платформ типа «Каспий» и т. п.) или со льда выполняется по предварительно намеченным профилям. Структурно-профильное бурение дает возможность проследить на дне маркирующие горизонты (свиты), восстанавливать наличие разрывных нарушений и собирать образцы горных пород для анализов. С индивидуальных оснований или эстакад выполняется опорное (параметрическое) бурение как основа для интерпретации геофизических данных.

АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Акустические методы (эхолотирование, геолокация и т. д.) находят широкое применение при изучении геологического строения и картировании как шельфа, так и глубоководных частей морей и океанов.

Эхолотирование может дать исчерпывающий материал о рельефе дна. Поскольку характер рельефа дна в основных чертах зависит от геологического строения и проявления новейших тектонических движений, то расшифровка рельефа в некоторых случаях позволяет использовать данные эхолотных промеров для геологического и геоморфологического картирования дна. В частности, нередко наблюдается зависимость рельефа от вещественного состава пород, поэтому эхограммы могут быть использованы для прослеживания на морском дне и нанесения на карту пород разного состава и возраста. Например, на

рис. 53 приведены три эхолотных профиля, проложенные перпендикулярно к береговой линии на расстоянии нескольких километров друг от друга. На профилях хорошо видно сходство форм рельефа, приуроченных к породам определенного вещественного состава, что позволяет отбивать границы между ними и трассировать их по простиранию. Взятие образцов пород с определенных форм рельефа позволяет устанавливать не только вещественный состав, но и по содержанию макро- и микрофауны — возраст обнажающихся на дне тех или иных литолого-стратиграфических подразделений.

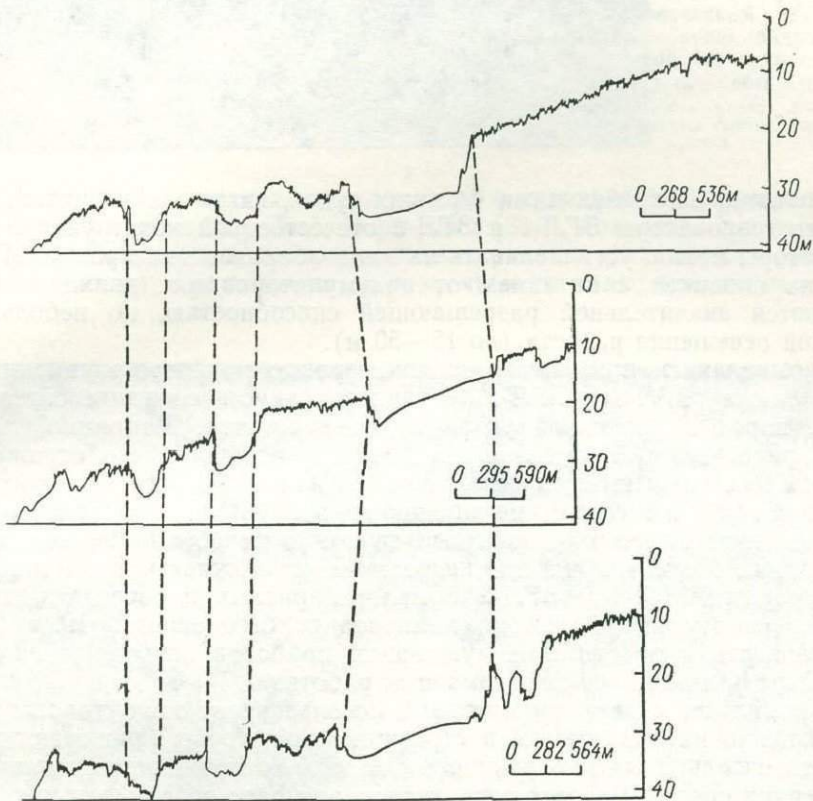


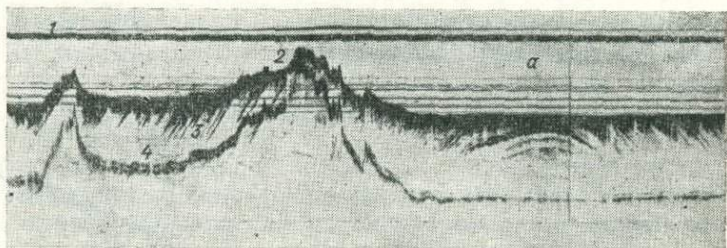
Рис. 53. Эхограммы профилей, на которых хорошо видна закономерная связь рельефа с геологическим строением морского дна.

Геолокация отличается от эхолотирования тем, что дает возможность получать информацию не только о подводном рельефе, но и о геолого-структурных особенностях морского дна, так как в приемник аппаратуры попадает отраженный звук не только от дна бассейна, но и от пластов горных пород, залегающих на некоторой глубине [155]. На эхограммах геолокатора непосредственно фиксируется геологическое строение — антиклинальные и синклинальные перегибы, разрывные нарушения, несогласия в залегании и т. д. (рис. 54).

Кроме того, при анализе эхограмм иногда можно установить мощности современных отложений, углы падения пластов и т. д. При расчете угла падения пород по изобразившимся на эхограммах геолокатора наклонным пластам необходимо знать горизонтальный и вертикальный масштабы эхограммы, причем следует учитывать, что скорость прохождения звука меняется в зависимости от физических свойств горных пород. Углы падения пород можно также определить и по изобразившим-

ся на эхограммах геолокатора и эхолота куэстообразным грядам, пологий склон которых обычно совпадает с плоскостью падения пластов.

В современной практике применяется разная сейсмоакустическая аппаратура с магнитоотрицательными, электроискровыми и другими источниками упругих колебаний. Наиболее простыми и безопасными в



эксплуатации, не требующими больших судов, являются магнитоотрицательные геолокаторы ЗГЛ-1 и ЗГЛ-2 отечественной конструкции. Эти геолокаторы можно устанавливать на малогабаритных катерах, а ЗГЛ-1 даже на шлюпках с питанием от аккумуляторов или двигков. Они отличаются значительной разрешающей способностью, но небольшой глубиной освещения разреза (до 15—50 м).

К сожалению, применение геолокаторов с магнитоотрицательными излучателями (ЗГЛ-1 и ЗГЛ-2) ограничено акустическими свойствами горных пород и крутизной углов падения пластов. Например, пески сильно рассеивают звук, а породы большой плотности его отражают, в связи с чем энергия звуковых колебаний или сильно ослабляется рассеиванием, или же совсем не проникает в глубь пород. При крутых углах падения пластов отраженные звуковые колебания не попадают в приемник. Несмотря на эти недостатки, возможность вести работы геолокаторами ЗГЛ-1 и ЗГЛ-2 с малогабаритных плавсредств, допускающих работу на прибрежных мелководьях, безопасность работы, неприхотливость и простота обслуживания приборов позволяют широко использовать их при геологосъемочных работах.

В комплексе с другими методами использование этих геолокаторов весьма ценно на акваториях, в строении дна которых принимают участие относительно мягкие глинистые породы, содержащие пласты более крепких пород. В этом случае геолокация дает дополнительную геологическую информацию, значительно повышающую качество составляемых геологических и геоморфологических карт. Даже в том случае, если на эхограммах геолокатора не вырисовываются пласты поддонных образований, эхограммы могут быть использованы для анализа рельефа, поскольку последний на них всегда отражается.

Сейсмоакустическая аппаратура с электроискровыми источниками упругих колебаний допускает получение профилей с глубиной информации от нескольких сотен метров до 1,5—2,0 км по разрезу. Однако обслуживание электроискровой сейсмоакустической аппаратуры значительно сложнее, чем ЗГЛ-1 и ЗГЛ-2. Работу необходимо проводить с многотоннажных кораблей с глубокой осадкой, поэтому в зоне прибрежного мелководья с глубинами, меньшими 30 м, выполнять сейсмоакустические работы электроискровыми геолокаторами опасно, хотя в пределах внешнего шельфа и открытых частей морей и океанов эта аппаратура дает ценную информацию.

Сейсмоакустическое зондирование является одним из основных методов получения сведений о геолого-структурном строении морских акваторий, в связи с чем должно быть широко использовано как при крупно-, так и при более мелкомасштабном геологическом картирова-

нии. Сейсмоакустические работы имеют особое значение при геологическом картировании тех площадей дна, для которых не получено фотографическое изображение, так как они позволяют с наибольшей достоверностью выявлять участки, где картировочное бурение может дать наиболее информативные данные.

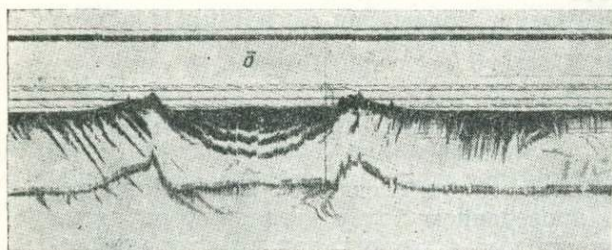


Рис. 54. Геолокаторный профиль, полученный ЗГЛ-1, на котором хорошо видны антиклинальный (а) и синклинальный (б) перегибы пластов.

1 — поверхность моря; 2 — рельеф дна; 3 — пласты горных пород; 4 — эхо.

Соединение эхолота или геолокатора с катодным осциллографом по методу, разработанному Л. А. Сергеевым [386], позволяет судить о распространении на дне водоема отложений разного состава, поскольку на экране осциллографа получаются различные сигналы, зависящие от раз-

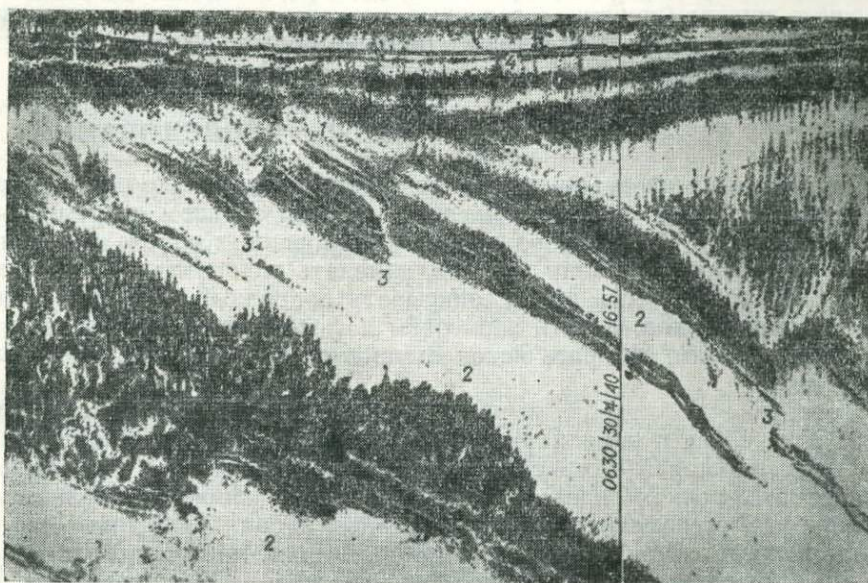


Рис. 55. Изображение морского дна, полученное сонаром бокового обзора (D. G. Tucker. A. R. Stubbs, 1961 г.).

1 — дислоцированные пласты коренных пород; 2 — рыхлые отложения; 3 — дизъюнктивные нарушения; 4 — вертикальный акустический профиль.

ной способности горных пород и современных отложений поглощать, рассеивать и отражать звуковые колебания.

Сонары бокового обзора позволяют получать изображения значительных площадей морского дна, по качеству близкие к фотографиям (рис. 55) [549]. Изображение строится с помощью звука, излучаемого в воду не вертикально, как в эхолоте, а под некоторым углом. Отраженный от объектов дна звуковой импульс, интенсивность которого зависит от поглощающей, рассеивающей и отражающей способностей,

объема и формы объектов дна, строит его изображение, аналогичное изображению перспективного аэрофотоснимка. При съемке по системе параллельных полос из отдельных снимков можно смонтировать схемы, приближающиеся к плановым, на которых отображаются значительные площади дна. Точность таких схем значительно уступает точности материалов аэрофотосъемки. Во время съемки дна сонарами бокового обзора необходимо выдерживать курс и скорость корабля, а также выполнять время от времени определение положения снимаемых участков навигационными методами.

ПОДВОДНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ

Телевизионные передачи с морского дна следует осуществлять в качестве рекогносцировки перед проведением более детальных работ на морском дне водолазом-исследователем, а также в тех пунктах морского дна, где нет возможности выполнить непосредственные подводные наблюдения. В последнем случае сведения, получаемые посредством подводной телевизионной установки, дополняются взятием образцов с морского дна механическими орудиями (дночерпателями, трубками, драгами и т. д.).

Подводное телевидение дает возможность выполнить фотографирование морского дна и по изображению на экране телевизора опознать различные грунты (валунные, галечные, песчаные, илстые), установить выходы коренных пород, определить наличие подводной растительности и бентоса, выявить характер мезо- и микрорельефа и т. п.

ВОДОЛАЗНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Водолазные исследования дают возможность не только производить сбор с морского дна образцов рыхлых, главным образом современных, отложений, но и отбивать образцы сцементированных пород, выполнять замеры элементов залегания пластов, измерять радиоактивность и магнитную восприимчивость пород, описывать подводный рельеф и ландшафты морского дна, делать зарисовки и фотографии, наблюдать выходы газа и нефти, собирать ископаемую и современную фауну и флору и т. п.

Подводные наблюдения выполняются на отдельных точках по профилям или непрерывными маршрутами, а при детальных обследованиях небольших площадей — серией параллельных маршрутов. Наблюдения на отдельных точках галса (профиля) ставятся главным образом на участках дна, где имеются выходы коренных пород. Последние участки устанавливаются либо по аэрофотоизображениям, либо по характерной записи на эхограммах. В последнем случае, если выходы коренных пород представлены дислоцированной слоистой осадочной толщей, обуславливающей сильно, но мелкопересеченный рельеф дна, запись на эхограмме отличается резко выраженным пилообразным характером кривой. Иногда участки выходов на дне твердых массивных пород опознаются по толщине записи на эхограмме (четкая тонкая линия, а не широкая, расплывчатая, свойственная рыхлым отложениям). В местах аномальной записи на эхограммах, характерной для коренных пород, сбрасывается буюк, к которому подходит катер, и производятся водолазные исследования.

При проведении наблюдений непрерывно по маршруту аквалангист-исследователь движется за шлюпкой, с которой он связан сигнальным тросом. По мере необходимости по сигналу аквалангиста шлюпка делает остановку, во время которой выполняются детальные исследования: сбор образцов, фотографирование, описание и зарисовки подводных объектов

и т. д. Время от времени аквалангист поднимается на поверхность для передачи проб и оформления наблюдений в журнале. Положение аквалангиста в момент остановки в точке наблюдения фиксируется со шлюпки путем обратной засечки с помощью секстана или прямой засечкой теодолитами с берега, выполняемой по сигналу со шлюпки.

При детальном исследовании на ключевых участках по определенным профилям, по которым должны выполняться наблюдения геологами-аквалангистами, на дне по заданному направлению укладывают трос, концы которого закрепляют якорями и фиксируют на поверхности воды буйками. Положение буйков, т. е. концов троса, определяют по береговым ориентирам и наносят на карту или фотосхему. При изучении площади на дне укладывают ряд параллельных тросов, вдоль которых передвигается аквалангист. Детальные работы чаще всего выполняются на участках выходов коренных пород, наличие и местоположение которых устанавливается по данным дешифрирования аэрофотоснимков и уточняется с помощью эхограмм.

ПОДВОДНОЕ ФОТОГРАФИРОВАНИЕ

Подводные фотографии, получаемые путем погружения фотоаппарата с судна, позволяют получать представление об особенностях тех участков дна, которые недоступны для непосредственных наблюдений, а фотографии, выполненные водолазом-исследователем, документируют и иллюстрируют наблюдения последнего.

По снимкам, сделанным непосредственно под водой, можно судить о выходах коренных пород и о характере их залегания, о фациях современных морских отложений, о формах подводного рельефа, об особенностях распределения растительности и донных организмов и т. д. Для подводных съемок можно рекомендовать фотоаппараты типа ФЭД, «Зоркий», «Зенит», «Старт» с объективами «Юпитер-12», «Орион-15», «Руссар МР-2» и др., заключенные в герметизирующий блок, снабженный иллюминатором и механизмами для управления.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ И ЛАНДШАФТНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДНА

При изучении геологического строения морских мелководий, особенно с применением материалов аэрофотосъемки, главными являются геоморфологические индикаторы. Особенности рельефа дна во многих случаях зависят от вещественного состава обнажающихся на дне коренных пород и рыхлых отложений, а также нередко определяются интенсивностью и формой новейших и современных тектонических движений. Следовательно, рельеф может служить индикатором геологического строения, и поэтому анализ рельефа приобретает особое значение при использовании ландшафтного метода для геологического изучения. По рельефу также можно судить о современных физико-геологических процессах, о донных биоценозах и т. п.

Из биологических индикаторов наибольшее значение имеет растительность. Подводная цветковая растительность может служить индикатором современных рыхлых отложений, а водоросли — индикаторами выходов на дне скальных пород. Фауна бентоса также может свидетельствовать в одних случаях о выходах на дне коренных пород, в других — о вещественном составе рыхлых отложений.

Работы по выявлению ландшафтных закономерностей выполняются на ключевых участках методом обследования площадок или методом проведения детальных ландшафтных профилей. Взаимосвязи различных ландшафтных компонентов морского дна, в том числе и их зависимости

от геологического строения, очень наглядно проявляются на комплексных ландшафтных профилях, составляемых в результате проведенных исследований.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА ХОДУ СУДНА ИЛИ НА ОТДЕЛЬНЫХ ТОЧКАХ НАБЛЮДЕНИЯ

К геофизическим работам, выполняемым на ходу судна или на отдельных точках наблюдений, относятся морская электроразведка, подводная радиометрическая съемка и магнитометрические работы. Этот комплекс методов значительно расширяет возможности геологосъемочных работ. Геофизические методы позволяют получать сведения о геологическом строении участков дна, для которых отсутствуют изображения на материалах аэрокосмических съемок; дают возможность устанавливать площади для буровых, водолазных и других методов изучения дна, а в некоторых случаях — отбивать границы между геологическими телами и устанавливать распространение последних в пределах картируемых акваторий.

Метод морской электроразведки основан на регистрации различных удельных электрических сопротивлений горных пород, непосредственно обнажающихся на морском дне или перекрытых мало мощным слоем современных отложений [377, 460]. Электроразведочные профили желательно прокладывать вкrest предполагаемого простирания пород или же с таким расчетом, чтобы профили пересекали участки дна, имеющие различный рисунок фотонизображения. Электроразведка методом непрерывного профилирования в морских условиях позволяет трассировать выходы на дне коренных пород, оконтуривать аномальные зоны, выявлять геологические объекты, отличающиеся друг от друга разными удельными сопротивлениями, уточнять простирание пород, прослеживать зоны разрывных нарушений и т. д.

Подводная радиометрическая съемка, фиксирующая естественное гамма-поле, может оказать существенную помощь при геологическом изучении и картировании дна морских мелководий. Она осуществляется с помощью специальных буксируемых по дну кораблем подводных радиометров (датчиков), производящих непрерывную запись гамма-интенсивности по профилям [333, 465]. В связи с тем, что содержание радиоактивных элементов в осадках повышается с увеличением количества тонкодисперсного материала, устанавливается прямая связь гамма-активности с содержанием пелитового материала в донных отложениях, что позволяет использовать этот вид съемки для картирования современных морских осадков, а иногда и более древних пород. В некоторых случаях гамма-съемка дает положительные результаты для обнаружения растущих нефтегазоносных структур, выраженных в рельефе дна в виде невысоких изолированных подводных банок, сложенных более грубозернистыми осадками по сравнению с окружающими участками дна. Как показали опытные работы на западном берегу Каспийского моря, контуры гамма-полей пониженных значений, обусловленные наличием грубого состава, во многих случаях совпадают со сводами антиклинальных структур, а повышенных — с синклиналями. С помощью гамма-съемки также представляется возможность осуществлять поиски морских месторождений россыпных полезных ископаемых, характеризующихся повышенной концентрацией радиоактивных элементов.

Магнитометрические работы выполняются в двух вариантах: гидромагнитная съемка и каппометрические измерения.

Гидромагнитная съемка выполняется протонным магнитометром, буксируемым за судном на удалении первых сотен метров. Метод фиксирует дифференциацию магнитных свойств горных пород, что позволяет выявлять форму геологических тел, проследить по простиранию пласты или свиты определенного вещественного состава, устанавливать магнитные аномалии над геологическими структурами, оконтуривать площади распространения металлоносных песков и т. д.

Каппометрические измерения фиксируют магнитную восприимчивость пород. Они позволяют отбивать границы между литолого-стратиграфическими подразделениями, различающимися магнитной восприимчивостью, проследить их распространение; вместе с радиометрическими измерениями они являются эффективными методами поисков россыпей.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ВЫПОЛНЕНИЯ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ НА АКВАТОРИЯХ

Вследствие ограниченного опыта геологосъемочных работ на акваториях и шельфе, в частности масштаба 1 : 50 000, технологическая схема таких работ может быть намечена только весьма приблизительно и может меняться в зависимости от конкретных природных условий. Представляется наиболее целесообразной такая последовательность работ.

1. По данным предшествующих исследований составляются обобщающая карта выполненных геофизических работ и карты предварительного геолого-геоморфологического дешифрирования материалов аэрофото- и космических съемок. На основании анализа этих карт, литературных и фондовых источников составляется план полевых работ.

2. В начале полевых работ проводятся дополнительные опережающие геофизические (аэромагнитные, гравиметрические, сейсморазведочные) и аэросъемочные (АФС, РЛ, ИК) работы; изучается нормальный литолого-стратиграфический разрез по обнажениям в пределах прибрежных участков суши и выявляются геолого-структурные особенности побережий.

Особенности геолого-структурного строения, установленные в пределах прибрежной суши, могут быть экстраполированы по крайней мере на площади прибрежных участков морского дна, а литолого-стратиграфический разрез может быть характерен для большей части акватории шельфа.

3. На площадях акватории, для которых удалось получить аэрофотографические изображения морского дна, выбираются ключевые участки. В пределах этих участков выполняется тщательное полевое дешифрирование аэрофотоизображений с использованием всех доступных, описанных выше методов морской геологии. Здесь устанавливаются признаки дешифрирования подводных геологических объектов, выявляются зависимости рельефа и других компонентов ландшафта дна от особенностей геологического строения. Впоследствии эти признаки используются при работах по профилям на всей картируемой площади, а также при дешифрировании аэрофотоснимков и составлении геологических и геоморфологических карт.

4. Для более эффективного проведения полевых работ и полевого геологического дешифрирования с целью составления геологических карт морского дна предварительно по имеющимся аэрофотоизображениям определяется основное простирание пород, что позволяет наметить направление исследовательских маршрутов вкост простирания основных структур.

Если аэрофотоизображение на картируемые площади отсутствует и нет никаких других сведений о возможном простирании пород на дне, маршруты (галсы) прокладывают перпендикулярно к берегу, параллельно друг другу, по заданному курсу. Картируемая площадь покрывается равномерной сетью указанных профилей. При необходимости прокладывают связующие маршруты вкрест простирания основных профилей.

5. В процессе непосредственно геологосъемочных маршрутов проводятся работы как на ходу судна, так и более детальные наблюдения на станциях (точках наблюдения). На ходу судна по геологосъемочным профилям выполняются комплекс или отдельные виды геофизических работ (электропрофилеирование, радиометрическая и гидромагнитная съемки), а также акустические исследования (эхолотирование, геолокация и сонарная съемка). Материалы этих работ наряду с предварительным дешифрированием аэрофотоснимков позволяют целесообразно наметить пункты (точки наблюдений), на которых можно тем или иным способом осуществить сбор образцов, водолазные работы, подводное фотограмирование и т. п.

Для того чтобы получить непрерывную запись некоторыми геофизическими и геоакустическими методами по всему профилю, сначала осуществляют только те работы, которые выполняются на ходу судна, намечая при этом точки (на основании анализа материалов аэрофото-съемки, эхограмм, геоакустических профилей и т. д.), на которых необходимо выполнить более детальные исследования. Желательно в таких точках по профилю сбрасывать буйки, чтобы зафиксировать и более точно выйти затем на намеченные участки детальных работ. Выход на эти точки наблюдения впоследствии осуществляется с помощью повторных маршрутов, сопровождающихся эхолотированием и определением на ходу местоположения судна, при этом применяются вышеописанные способы засечки секстанами или радиогеодезические средства.

Иногда работы на ходу судна и детальные исследования на точках наблюдения совмещаются в процессе проведения одного маршрута. В таких случаях по профилю делаются остановки в намеченных точках, где производятся сбор проб, водолазные и другие исследования, а между этими точками выполняются геофизические и геоакустические работы. При такой организации исследований не требуется проведения повторных маршрутов и осуществляется более точная привязка подводных объектов морского дна к профилю, но при этом происходит некоторое нарушение непрерывности галса, а следовательно, и записей на приборах, поскольку при постановке судна на якорь, в результате его дрейфа, неизбежно имеет место некоторое смещение с маршрута.

6. Собранный в процессе полевых работ по маршрутам фактический материал наряду с результатами дешифрирования материалов аэросъемок позволяет составить фрагменты полевых геологических карт, которые могут быть уточнены картировочным бурением. Последнее осуществляется в отдельных точках акватории для выяснения тех или иных возникающих вопросов или же по профилям, на которых фиксируются горизонты или свиты. Для выяснения глубинного строения желательно выполнение опорного (параметрического) бурения, вскрывающего разрез до глубин не менее чем 500 м.

7. В результате окончательной обработки собранных материалов, включающей камеральное дешифрирование аэроснимков, составляется отчет и подготавливаются к изданию геологические, геоморфологические и другие карты заснятых участков акватории.

МЕТОДЫ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

АЭРОФОТОМЕТОДЫ

По данным изучения материалов аэрофотосъемки иногда удается обнаружить полезное ископаемое или признаки, указывающие на его присутствие. Так, на аэрофотоснимках фиксируются пленки нефти на поверхности воды, а также газы, выделяющиеся на дне морских мелководий. Последние образуют на поверхности воды пузыри, фотоизображение которых представляет собой четкую светлую полосу [128]. Как показали наблюдения Ю. Н. Кулакова, выходы газов на дне озерных водоемов могут быть обнаружены по материалам аэрофотосъемки, проведенной после ледостава, поскольку над источником образуется полынья, четко выделяющаяся темным пятном на фоне светлого ледяного покрова. На аэрофотоснимках нередко опознаются старые горные выработки. В особенности легко они дешифрируются в случаях, когда на отвалах растительность отсутствует или резко отличается от произрастающей на окружающей местности.

Ряд полезных ископаемых может быть установлен непосредственно при анализе их фотоизображения. К ним относятся, например, такие, как известняки и доломиты, выделяющиеся по карстовым образованиям, пески с золотыми формами рельефа, торф в пределах современных болот и ряд других. Такие полезные ископаемые, как правило, занимают значительные площади, которые оконтуриваются при среднемасштабном картировании, поэтому значение дешифрирования их при крупномасштабном картировании невелико. В геологической практике известны и случаи обнаружения полезных ископаемых или признаков, указывающих на их присутствие, непосредственно с воздуха, в основном при аэровизуальных наблюдениях.

Основное значение аэрофотометодов при поисковых работах заключается в том, что они дают информацию, которая существенно облегчает поиски и делает их более эффективными и целенаправленными как на этапе выделения перспективных участков, так и на этапе детальных поисков.

Перспективные участки могут быть выделены на основании структурных, литолого-петрографических, геоморфологических и геоботанических критериев. Во многих случаях перспективные участки выделяются по комплексу критериев. Например, таким участком могут явиться зона повышенной трещиноватости интрузивного массива (структурный и литолого-петрографический критерии) или западины в своде антиклинальной складки, указывающие на наличие диапирового ядра, сложенного легкорастворимыми галогенными породами (структурный и геоморфологический критерии).

Сочетание литолого-петрографических и структурных критериев применяется в настоящее время, например, при поисках месторождений пьезокварца. И. Д. Ворона и Б. А. Сикач указывают, что среди широко распространенных кварцевых жил хрусталеносные встречаются лишь в толщах кварцитов, входящих в состав иенгской серии архея. В качестве поисковых критериев использовано также наличие небольших секущих интрузий аляскитовых гранитов, усложнение складчатости и увеличение густоты разрывных нарушений в пределах иенгской серии. Все перечисленные особенности геологического строения могут быть

установлены в значительной степени по данным дешифрирования аэрофотоснимков.

На этапе детальных поисков и поисково-оценочных работ на участках, где установлены полезные ископаемые или их прямые признаки, аэрометоды дают информацию о пространственном положении вмещающих или контролирующих геологических структур или тел, их форме в плане, а подчас и условиях залегания. Такая информация может быть быстро получена при анализе фотоизображения, методика которого обычна для геологического дешифрирования. Характерным примером сказанного является прослеживание древней прибрежно-морской алмазонасной россыпи на северо-востоке Сибирской платформы (Б. И. Прокочук, 1961 г.). Эта россыпь, связанная с пластом конгломератов, была обнаружена шлиховым опробованием и вскрыта в одном пункте горными выработками.

По дешифрированию пласт конгломератов был прослежен на протяжении более 300 км, после чего опробование в ряде пунктов подтвердило его повсеместную алмазонасность.

В случае выявления дешифровочных признаков объектов, вмещающих полезное ископаемое, контролирующих их размещение или указывающих на наличие полезного ископаемого, анализ фотоизображения позволяет обнаружить аналогичные объекты в сходных геологических и ландшафтных условиях. Так, например, В. М. Будько и Б. В. Шилин (1964 г.) установили, что железные шляпы полиметаллических месторождений Прибалхашья выделяются на аэрофотоснимках в виде темных гладких пятен с расплывчатыми контурами. Они могут быть уверенно отличены от меланократовых магматических пород, вмещающих месторождения, фотоизображение которых представляет собой несколько более светлые пятна со слабо различимым радиально-лучистым рисунком.

В открытых районах, лишенных сплошного растительного покрова, большую помощь при поисках полезных ископаемых или вмещающих их геологических тел, дешифровочные признаки которых установлены, могут оказать цветные аэрофотоснимки. На таких снимках объекты поисков опознаются благодаря собственной окраске или цвету элювиально-делювиальных образований. Так, например, на цветных аэрофотоснимках выделяются выходы зелено-серых меденосных песчаников среди красноцветных безрудных пород в Казахстане (Ю. А. Зайцев, 1959 г.; Ю. А. Зайцев, Л. А. Мухина, 1966 г.). Спектрзональная съемка в этих условиях эффекта не дает. На местности цветовые различия пород малозаметны вследствие развития растительного покрова и корок загара.

На этапе детальных поисков существенную помощь оказывают аэрофотометоды при поисках коренных источников полезных ископаемых по установленным ореолам рассеяния. В случае обнаружения полезного ископаемого или его спутников в аллювии анализ материалов аэрофотосъемки позволяет быстро оконтурить возможную площадь сноса, что не всегда выполнимо при использовании лишь топографических карт, на которых могут не выделяться ложбины стока, перехваты, древние долины, поля распространения возможных промежуточных коллекторов, существенно изменяющие площадь сноса. При наличии полезного ископаемого или его спутников в делювии или пролювии по фотоизображению легко определить вероятное местоположение коренного источника, а иногда и отдешифрировать его. Это позволяет избежать трудоемких работ по оконтуриванию веера рассеяния на склоне, как это было принято в поисковой практике.

Ниже рассмотрены критерии, по которым выделяются перспективные участки. Охарактеризованы они в «чистом виде», поскольку многообразие их сочетаний слишком велико. Для каждой конкретной обстановки исследователь должен определить наиболее часто встречающиеся

и имеющие наибольшую поисковую ценность сочетания критериев и дешифровочных признаков.

Структурные критерии являются определяющими при выделении участков для поисков месторождений в платформенных и складчатых районах, перспективных на нефть, горючие газы, иод, бор, эндогенные полезные ископаемые и некоторые полезные ископаемые осадочного генезиса.

К *разрывным нарушениям* в большинстве случаев приурочены дайки, жилы, зоны минерализации. В некоторых районах, лишенных сплошного растительного покрова, по аэроснимкам в ряде случаев можно выделять разрывы с приуроченными к ним дайками или жилами. Так, например, кварцевые жилы выделяются светлыми линиями, причем по россыпям обломков, занимающим сравнительно широкую полосу, дешифрируются маломощные жилы. Вдоль даек наблюдаются «оторочки» контактово измененных пород. Нередко возможно отдешифровать и участки раздувов в пределах жил, представляющие особый интерес. Такой признак, как гряда в рельефе, позволяет определить, что с разрывом связана дайка, жила или минерализованная зона, даже в закрытых районах.

Дешифрирование разрывных нарушений применяется при поисках исландского шпата в слабо обнаженных районах запада Сибирской платформы (Е. Я. Киевленко, Н. В. Дренов, 1961 г.). Один из известных типов месторождений в этом регионе связан с зонами дробления в туфогенных породах, второй — с гипабиссальными трапповыми телами (дайками и штоками), приуроченными к разрывным нарушениям. Анализ фотоизображения позволяет опознать многие разрывные нарушения, трудно устанавливаемые при полевых наблюдениях. Особенно уверенно дешифрируются те из них, к которым приурочены дайки долеритов. На аэроснимках видны также зоны выклинивания разрывов, на продолжении которых расположены трещины с цепочками жило- и штокообразных тел, а также разветвления типа «конского хвоста». Такие структуры благоприятны для размещения месторождений.

Складчатые структуры могут служить ловушками для нефти и горючих газов, контролировать размещение эндогенных полезных ископаемых, а также указывать на наличие таких полезных ископаемых в осадочном чехле, как соли (диапировые купола). Методы дешифрирования складчатых структур описаны в гл. V, т. I.

Литолого-петрографические критерии используются при выделении перспективных участков для поисков месторождений полезных ископаемых экзогенного и эндогенного происхождения в платформенном чехле и складчатом комплексе, а также месторождений, связанных с региональным метаморфизмом. Для осадочных и метаморфических пород это могут быть отдельные прослои и пачки, для магматических пород — контактовые зоны, апикальные части плутонов или участки различного состава в сложных массивах.

В большинстве случаев по аэрофотоснимкам удается оконтурить зоны экзоконтактовых изменений, которые по своему составу и свойствам отличаются как от пород плутона, так и от прорванных им отложений. В районах, лишенных сплошного растительного покрова, зоны экзоконтактово измененных пород опознаются по собственному цвету или цвету элювиально-делювиальных образований. На черно-белых аэрофотоснимках они обычно выделяются тоном фотонизображения, более светлым или более темным по сравнению с вмещающими породами.

В качестве примера выделения перспективных участков по петрографическим критериям приведен аэрофотоснимок щелочно-ультраосновной интрузии Немакит. На снимке (рис. 56) четко распознаются концентрически расположенные участки, сложенные породами различного состава. Вокруг интрузии по более темному фототону, чем на вме-

щающих породах, выделяется ореол экзоконтактового метаморфизма. В пределах каждого из трех ясно опознаваемых участков возможны месторождения различных полезных ископаемых.

В ряде случаев дешифрирование позволяет опознать представляющие поисковый интерес геологические тела, которые были пропущены при среднемасштабном картировании из-за небольших размеров. Таковыми телами могут быть штоки, дайки и жилы, прослои и линзы определенного состава осадочных или метаморфических пород, потоки или покровы эффузивов и другие образования.

Геоморфологические критерии имеют значение при поисках полезных ископаемых экзогенного происхождения, связанных как



Рис. 56. Щелочно-ультраосновная интрузия Немакит с сателлитами.

1 — ийолит-мейтельгиты; 2 — мелилитовые породы; 3 — слои осадочных пород; 4 — сателлиты (строение дано по В. П. Сафронову).

с формированием древнего рельефа и коры выветривания, так и с четвертичными отложениями (геоморфологические признаки тектонических структур, контролирующей эндогенную минерализацию, упоминались ранее).

При поисках экзогенных месторождений, связанных с формированием древнего рельефа и приуроченной к нему коры выветривания, дешифрирование позволяет решить две задачи: выяснить строение древнего (погребенного) рельефа и оконтурить участки, наиболее благоприятные для поисков возможных месторождений.

При выяснении строения древнего рельефа возможны два варианта. Первый из них, наиболее простой, когда современный рельеф в какой-то степени повторяет древний. Анализ современного рельефа позволяет составить представление о рельефе древней поверхности и наметить участки, перспективные для поисков месторождений тех или иных полезных ископаемых: древние возвышенности, долины, озерные котловины, карстовые западины. Совпадение строения современного рельефа с погребенным используется, в частности, при поисках месторождений бокситов в Тургайском прогибе (Г. Р. Кирпаль, 1963 г.). Один из типов месторождений в этом районе приурочен к карстовым воронкам в карбонатных породах палеозойского фундамента, расположенным цепочками по простиранию пачек известняков или их контактов с алюмосиликатными породами. Над бокситовыми залежами в современном релье-

ефе наблюдаются понижения, занятые болотами или озерами. По данным автора, надкарстовые понижения опознаются по фотоизображению и при аэровизуальных наблюдениях. В случае неглубокого залегания фундамента понижения в современном рельефе выражены четко и имеют крутые обрывистые борта. Контур их полностью совпадает с контуром рудной залежи. При глубоком залегании фундамента борта впадин становятся пологими и менее четкими.

Более сложен второй вариант, когда современный рельеф не согласуется с древним. Установить строение последнего удастся лишь в достаточно расчлененных районах, где на склонах вскрыта и дешифрируется подошва толщи, перекрывающей древний рельеф. Практически здесь строится структурная карта по подошве перекрывающей толщи. Точность и детальность ее зависят от количества и равномерности распределения по площади точек определения положения «маркирующего горизонта». Такая карта, например, построена Е. С. Кутейниковым и Л. П. Беляковым для части территории северной окраины плато Путорана Сибирской платформы, по подошве лавовой толщи, налегающей на неровную размытую поверхность туфогенных пород. Подошва лавовой толщи, которая выделяется в рельефе четким уступом, в большинстве случаев, за исключением крутых склонов каньонов, уверенно опознается на плановых аэрофотоснимках. В результате в погребенном рельефе установлены вытянутые понижения, являющиеся, скорее всего, древними эрозионными долинами.

Наиболее благоприятны для поисков месторождений в первую очередь участки выхода на дневную поверхность или неглубокого залегания поверхности несогласия. Иллюстрацией этого является пример поисков коры выветривания на Анабарском кристаллическом массиве Сибирской платформы (рис. 57). В поле выходов на поверхность складчатого комплекса, слагающего фундамент, кора выветривания полностью размыта. Сохранилась она лишь под покровом протерозойских осадочных пород. Наиболее благоприятны для вскрытия площади вдоль границы выходов на поверхность осадочного чехла и фундамента, которые легко опознаются на аэрофотоснимках. В большинстве случаев дешифрирование позволяет наметить в пределах таких площадей участки с наименьшей мощностью осадочного покрова и элювиально-делювиальных образований, где трудоемкость проведения горных работ будет наименьшей. В поле осадочных пород структурное дешифрирование и анализ геофизических данных позволяют наметить поднятия в рельефе фундамента, на сводах и крыльях которых вероятно присутствие коры выветривания, залегающей на небольшой глубине.

Наибольший объем информации материалы аэрофотосъемки дают при поисках месторождений полезных ископаемых, приуроченных к четвертичным отложениям, что объясняется связью состава этих отложений



Рис. 57. Граница распространения покровного комплекса, несогласно перекрывающего складчатый комплекс на крыльях кристаллического массива. Сибирская платформа (материалы В. М. Рудяченка).

с определенными формами рельефа. Так, формы ледниковой аккумуляции свидетельствуют о наличии отложений, среди которых возможны месторождения строительных материалов. Озовые гряды, камы, конечноморенные гряды перспективны для поисков галечников, песчано-гравийной смеси, а в пределах озových гряд и зандровых равнин часто встречаются месторождения песков. Иногда дешифрирование позволяет в какой-то степени уточнить состав таких отложений.

Более резкие формы рельефа в пределах водно-ледниковых отложений, особенно при расчленении их эрозийной сетью, свидетельствуют о плохой их отсортированности и наличии крупнообломочного материала — валунишков, гравийно-галечной смеси. Если водно-ледниковые образования представлены песками, формы рельефа более мягкие, сглаженные. Особенно благоприятными для поисков строительных песков являются зандровые равнины.

Легко дешифрируемые аллювиальные отложения русел, поймы и террас перспективны для поисков галечников, гравийно-галечной смеси, строительных и стекольных песков; в верхней части разреза отложений высокой поймы и террас возможны месторождения глин. Анализ фотоизображения вееров блуждания в пределах поймы и низких террас позволяет установить динамику древнего русла и определить положение головных (с более грубым составом) и хвостовых (с более тонким составом) участков древних кос, а также некогда существовавших старичных озер, к которым могут быть приурочены месторождения глин и суглинков. Легко опознаваемые по специфическому фотоизображению аккумулятивных форм и дефляционных котловин эоловые образования, широко распространенные в пределах многих частей территории СССР, являются индикаторами возможных месторождений песков. Характерное изображение имеют современные и древние озерные котловины, которые перспективны для поисков торфа, сапропелей, суглинков и глин.

Примером выделения перспективных участков на основании геоморфологических критериев являются поиски месторождений кирпично-черепичных глин и суглинков в Белоруссии. По данным В. И. Гридина, эти месторождения, имеющие озерно-аллювиальное происхождение, приурочены к западинам в пределах водно-ледниковой равнины. На топографических картах такие западины не выделяются, поскольку поверхность их расположена ниже окружающей местности всего на 0,5—2,0 м. Поиски их методом искаживания весьма затруднительны из-за малого диаметра — около 50—200 м. Анализ фотоизображения (рис. 58) позволяет оконтурить такие западины уже при предварительном дешифрировании, что резко повышает эффективность поисков. Методика проведения последних сводится к проверке перспективных участков горными работами с целью предварительной оценки качества полезного ископаемого и его запасов.

Особенно велика роль геоморфологических критериев при поисках россыпных месторождений. Геоморфологический анализ прежде всего позволяет произвести общую оценку перспективности картируемой территории и выделить в ее пределах участки, тектонический режим которых является или был в прошлом благоприятным для формирования россыпных месторождений.

Анализ аэрофотоснимков дает также большой объем информации, необходимой при поисках россыпей различных генетических и морфологических типов. При известном или предполагаемом коренном источнике могут быть отдешифрированы контуры возможной элювиальной россыпи — участки на плоских междуречьях или пологих склонах, на которых вероятно накопление обломочного материала. По фотоизображению в большинстве случаев (за исключением районов с густым древесным покровом) легко устанавливается направление сноса материала по склонам. Поэтому при известном коренном источнике дешифрирова-

ние позволяет определить контур делювиальной или пролювиальной россыпи, а также решить обратную задачу — обнаружение рудного тела по установленному ореолу рассеяния.

При поисках русловых россыпей дешифрирование аэрофотоснимков позволяет в пределах долин, перспективность которых предполагается или установлена предшествующими исследованиями, наметить участки с возможно большей концентрацией полезного ископаемого, подлежащие опробованию в первую очередь. Распределение таких участков обусловлено гидродинамическими особенностями потока, которые связаны с формой и строением русла, легко определяемыми по фотоизображению. Так, на аэрофотоснимках четко устанавливаются пороги и пере-

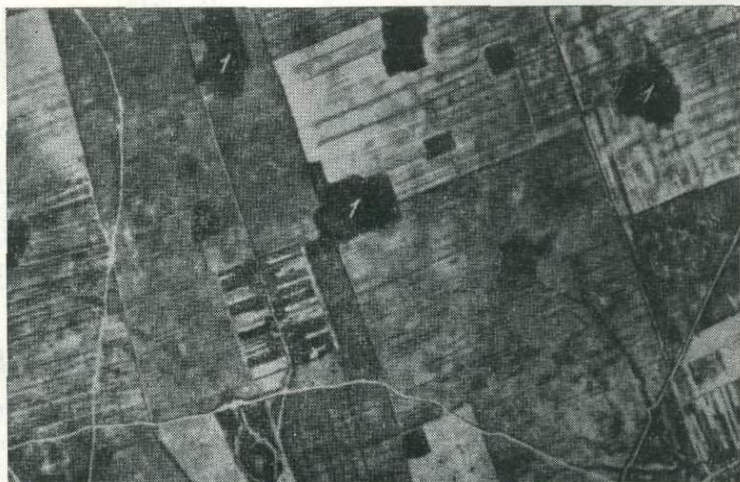


Рис. 58. Западины (1) на поверхности водно-ледниковой равнины (материалы В. И. Гридина).

каты. В пределах плесовых участков на аэрофотоснимках достаточно крупного масштаба могут быть выделены участки с ровным дном и с углублениями, отличающимися наиболее темным тоном фотоизображения, в пределах которых концентрация тяжелых минералов обычно наибольшая. На крупномасштабных аэрофотоснимках дешифрируются струи, тянущиеся на сотни метров, сложенные обломочным материалом различной крупности и характеризующиеся неодинаковым содержанием тяжелых минералов [14].

По аэрофотоснимкам легко устанавливается распределение кос, их морфология и направленность процессов развития, что имеет важное значение при постановке опробования. Так, например, Б. И. Прокопчук для алмазоносных районов Сибирской платформы выделены четыре типа кос, различающихся по распределению тяжелых минералов. К первому типу относятся прибрежные косы на прямолинейных участках русла, имеющие расширенную головную часть, содержание алмазов в которой в 10—20 раз больше, чем в средней части, и в 50—100 раз больше, чем в хвостовой. Ко второму типу относятся прибрежные косы, расположенные на выпуклых берегах излучин и имеющие серповидную форму. Наиболее обогащена алмазами средняя, самая выпуклая, часть косы, но содержание их здесь в 4—5 раз меньше, чем в головной части кос первого типа. К третьему типу отнесены островные косы с наиболее обогащенной головной частью; наименьшая концентрация алмазов приурочена к центральной части. Косы четвертого типа представляют собой

низкие отмели с обогащенной головной частью; в хвостовой части содержание алмазов ниже, но богаче, чем в хвостовых частях кос первых двух типов.

Дешифрирование при поисках пойменных россыпей дает возможность точно ограничить площадь поймы, а анализ грядового рельефа — восстановить прежнее положение речного русла (И. В. Попов, 1959 г.; Б. И. Прокопчук, 1961 г.). Определив положение русла в прошлом, легко установить конфигурацию древних кос и выявить, таким образом, участки с наибольшей концентрацией тяжелых минералов в захороненном русловом аллювии.

При поисках террасовых россыпей дешифрирование аэрофотоснимков позволяет оконтурить террасы современных и древних долин. Особенно важно дешифрирование аллювиальных комплексов древних долин, обычно легко выполняемое по аэрофотоснимкам, тогда как поиски и оконтуривание их методом искаживания чрезвычайно трудоемки (Ю. Г. Старицкий, 1956 г.), [14].

По аэрофотоснимкам, как показано М. В. Пиотровским, в ряде случаев возможно разделение аллювиальных частей террасоувалов, перспективных для поисков россыпных месторождений, и коренных. На топографических картах эти границы обычно не видны и с трудом улавливаются на местности. На аэрофотоснимках перегиб склона опознается благодаря изменению вертикального масштаба стереомодели, а в районах развития многолетней мерзлоты — и по смене комплексов растительности.

ВИЗУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ

По виду изучаемых объектов среди визуальных методов различаются геологические (поиски по естественным и искусственным обнажениям пород, по обломкам в аллювиальных и элювиально-делювиальных отложениях, по ледниковым валунам), геоморфологические и геоботанические.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

В ходе геологических маршрутов при осмотре естественных обнажений, горных выработок, керна буровых скважин фиксируются любые видимые признаки, указывающие на наличие или возможность наличия полезных ископаемых. К таким поисковым признакам относятся:

- 1) полезные ископаемые в естественных и искусственных обнажениях, горных выработках, керне буровых скважин;
- 2) обломки полезных ископаемых в аллювиальных, элювиально-делювиальных и ледниковых отложениях;
- 3) следы старых разработок;
- 4) породы и их обломки в рыхлых отложениях, подвергшиеся изменениям, связанным с процессами образования полезных ископаемых;
- 5) скопления гидроокислов железа и других гипергенных образований (железные шляпы, квасцовые шляпы и т. п.);
- 6) наличие на поверхности или в трещинах пород (в обнажениях, в обломках) налетов или пленок гипергенных минералов — продуктов окисления полезных ископаемых.

Проявления и признаки полезных ископаемых кроме визуального изучения и геологической документации обязательно подвергаются опробованию с последующим лабораторным анализом проб. Метод отбора проб, их количество и вид анализа зависят от вида полезного ископаемого и характера его проявления.

Поисковое значение эндогенно измененных пород и различных экзогенных образований может быть определено путем отбора и после-

дующего лабораторного изучения ограниченного числа штучных проб. Штучное опробование применяется и для изучения качества некоторых полезных ископаемых, таких как строительный и декоративный камень.

Проявления большинства твердых полезных ископаемых в коренном залегании опробуются бороздовым методом, проявления россыпных полезных ископаемых — методами задирки, валовым и кратной бадьи; при всех названных методах опробования исходная проба (весь отобранный материал) обычно путем квартования уменьшается до минимально необходимых и достаточных массы или объема, после чего направляется на исследование (анализ, испытания или промывку).

Методические основы опробования твердых полезных ископаемых изложены Г. Д. Ажгиреем (1950 г.), А. А. Якжиным (1954 г.), В. М. Крейтером (1960 г.), Н. В. Ивановым (в «Руководстве» под редакцией Е. О. Погребницкого, 1968 г.). Здесь уместно привести три правила полевого опробования полезных ископаемых.

1. Пробы отбираются с тщательно очищенной поверхности опробуемого геологического тела.

2. При бороздовом или задириковом опробовании материал для пробы выбирается на заданную глубину по всему протяжению борозды или по всей площади задирки и собирается на брезент. В процессе отбора пробы и последующего ее сокращения квартованием принимаются меры против ее засорения чуждыми примесями.

3. При конкреционном характере полезного ископаемого (желваковые фосфориты, осадочный колчедан, некоторые марганцевые руды и т. п.) выбранный из борозды (или задирки) материал разделяется вручную на полезный компонент и вмещающую породу. Затем взвешиванием определяется выход полезного компонента (в вес. % или кг/м³), являющийся важнейшей характеристикой полезного ископаемого. На лабораторный анализ отбираются либо полезный компонент и вмещающая порода отдельно, либо средняя проба, составленная из полезного компонента и вмещающей породы в количествах, пропорциональных их отношению в исходной пробе.

Количество материала, отбираемого для лабораторных исследований при опробовании некоторых видов полезных ископаемых, характеризуется следующими ориентировочными цифрами:

Руды металлов и другие полезные ископаемые на химический анализ, г	100—300
Глины кирпичные и черепичные, кг	3—4
Цементное сырье (глина, гипс), кг	5—6
Песок как строительный материал, кг	2
Гравий как строительный материал, кг	20
Камень как строительный материал, штучный размером 7 см в ребре	5

Пробы собственно полезных ископаемых изучаются в соответствии с требованиями промышленности к качеству минерального сырья: для подавляющего большинства видов минерального сырья (руды, химическое сырье) определяются с помощью высокоточных методов анализа (химический, пламенной фотометрии и др.) содержания главных ценных компонентов, а для некоторых полезных ископаемых — и вредных примесей; для строительных материалов — механические свойства, морозоустойчивость и т. п. Полезные ископаемые, в которых есть основания ожидать наличие ценных примесей, подвергаются спектральному количественному или полуколичественному анализу на все элементы, которые можно ожидать в данных условиях. Кроме того, определяются физические свойства полезных ископаемых (магнитные свойства, плотность, электрические свойства, радиоактивность), знание которых необходимо для интерпретации ранее выявленных аномалий физических полей и для обоснованного выбора геофизических методов, наиболее эф-

фективных при решении задач детальных поисковых и поисково-разведочных работ.

Пробы пород, несущих признаки, которые могут быть так или иначе связаны с процессами образования (гидротермальные изменения) или разрушения (окисления) полезных ископаемых, подвергаются спектральному анализу на все элементы, могущие входить в качестве главных компонентов, ценных примесей или характерных элементов в состав предполагаемых полезных ископаемых. Кроме спектрального анализа проводятся определения физических свойств измененных пород.

Собранная в процессе геологической съемки информация о видимых признаках полезных ископаемых наносится на рабочую (полевую) карту полезных ископаемых.

ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Общие положения. Геоботанические методы решения некоторых геологических и поисковых задач основаны на общеизвестной геохимической связи между горными породами, почвами и растительным покровом. Эта связь в растительном покрове проявляется следующим образом.

1. На горных породах определенного химического состава развиваются характерные виды или сообщества растений (например, сосновые леса на гранитах). Частным проявлением этой закономерности является развитие специфических видов растений на участках, где породы и почвы содержат аномальные (повышенные) количества определенно-го химического элемента, например меди, цинка, лития, селена, молибдена, кобальта.

2. Ряд химических элементов (свинец, мышьяк, торий, бор), присутствуя в породах и почвах в аномально высоких содержаниях, действуют на растения угнетающе, в связи с чем на участках аномалий таких элементов развивается разреженный или угнетенный растительный покров, а также проявляются различные отклонения от нормального развития у растений.

Однако конкретные особенности растительного покрова, обусловленные элементарным составом горных пород или полезных ископаемых, не являются достаточно устойчивыми даже в пределах одного региона в связи с тем, что на состав, строение и развитие растительного покрова существенно влияют также климатические условия (в том числе и микроклимат), рельеф (включая микрорельеф), экспозиция склонов, мощность и состав четвертичных отложений и другие геологические и природные факторы. Поэтому эффективное применение геоботанических методов при крупномасштабных геологосъемочных и поисковых работах возможно при условии, что для подлежащего изучению района будут предварительно выявлены или намечены геоботанические признаки полезных ископаемых и элементов геологического строения. Это может быть сделано в процессе подготовительных работ путем дешифрирования аэрофотоснимков, изучения и сопоставления с имеющимися геологическими картами материалов проведенных ранее геоботанических и ботанических (флористических) исследований, а в случае отсутствия таких материалов — путем проведения рекогносцировочных полевых исследований на площадях известных месторождений полезных ископаемых. Выявленные тем или иным путем геоботанические поисковые признаки в процессе дальнейших полевых работ проверяются, уточняются и по возможности дополняются новыми, ранее неизвестными, признаками.

Краткая характеристика геоботанических поисковых признаков. Геоботанические поисковые признаки под-

разделяются на флористические, морфологические, фитоценотические и фенологические [80].

Флористические признаки — особенности видового состава растительных сообществ, характерные для определенных горных пород или определенных типов рудной минерализации. Среди них выделяются универсальные (постоянные) и локальные признаки. Первые повсеместно характерны для конкретных горных пород (меловая, серпентиновая, доломитовая флоры) или определенного типа рудной минерализации (галмейная, селеновая, медная, кобальтовая и другие флоры). Вторые характерны для определенных типов рудной минерализации только в конкретных районах: качим Патрэна как господствующий компонент сообщества характерен только для участков медной минерализации в Горном Алтае и Центральном Казахстане, седмичник — для участков оловянной минерализации в Богемии и т. п. [276, 495].

Морфологические признаки — особенности внешнего облика растений — компонентов растительных сообществ. К ним относятся изменения формы и окраски листовых пластинок, стеблей, цветков, отклонения от нормальной формы роста (низкорослость, кустовидность древесных), господство тех или иных морфологических групп растений (деревьев, кустарников, трав). Например, на Южном Урале в пределах рудных полей месторождений никеля у некоторых видов растений (грудница мохнатая — *Linosyris villosa*, анемона — *Pulsatilla patens*) отчетливо выражена уродливость соцветий; в условиях Центрального Казахстана на месторождениях меди у типчака (*Festuca sulcata*) наблюдается изменение окраски листьев и т. п. [271, вып. 11].

Фитоценотические признаки — особенности ассоциированности растений и структуры растительного покрова. Включают различия в проективном покрытии, обилии, встречаемости, характере размещения растений на разных горных породах или месторождениях полезных ископаемых. В зоне сухих степей Центрального Казахстана, например, участки с наиболее высокими концентрациями в горных породах и почвах свинца характеризуются развитием сильно разреженной, по сравнению с окружающей, растительности.

Фенологические признаки — отклонения от нормы в ритме и цикле развития растений, когда происходит удлинение или, напротив, укорочение его со смещением тех или иных стадий (фаз) развития — начала вегетации, цветения, плодоношения и созревания семян. Так, например, в гумидных районах на породах теплопроводных, дренированных для растений характерно ускорение фенологических фаз (стадий развития), на породах нетеплопроводных, влажных — запаздывание их. Наибольшая задержка фенологических фаз наблюдается у растений на базальтах и сланцах.

В аридных условиях происходит смещение фенологических фаз на породах с разным водным режимом: в мелкосопочнике Северного Казахстана береза, осина и травянистые растения на глинистых сланцах и мергелях проходят все фазы развития быстрее и раньше желтеют, чем на гранитах и песчаниках. В Заволжье и Западном Казахстане на выходах битуминозных пород и нефтяных углеводородов у растений наблюдались явления вторичного цветения и вегетации поздним летом и осенью [72]; (С. С. Хохлов, 1947 г.); аналогичное явление было отмечено для подмаренника на площади одного из полиметаллических месторождений Центрального Казахстана и т. д.

Условия применения геоботанических методов поисков. Геоботанические методы могут применяться при поисках полезных ископаемых, связанных с дочетвертичными горными породами, в любых климатических зонах на площадях, где имеет место геохимическая связь между дочетвертичными породами и растительным

покровом. Можно выделить три типа площадей, на которых применение геоботанических методов может быть эффективным.

1. Площади, хорошо обнаженные или с маломощным покровом современных элювиальных или элювиально-делювиальных образований. Однако на таких площадях применение геоботанических методов в большинстве случаев практически нецелесообразно в связи с тем, что здесь более эффективны визуальные геологические и литогеохимические методы поисков.

2. Площади, где дочетвертичные породы перекрыты элювиальными и элювиально-делювиальными образованиями значительной мощности, в связи с чем визуальные геологические методы малоэффективны. На таких площадях геоботанические методы могут применяться в сочетании с геохимическими методами, с большим или меньшим успехом, в зависимости от климатических и других факторов. Например, в районах с влажным климатом, с большим количеством атмосферных осадков, интересующие поисковиков химические элементы выщелочены из верхних горизонтов рыхлых образований, в связи с чем литогеохимические поиски не эффективны; в таких районах хорошие результаты может дать применение геоботанических методов в сочетании с биогеохимическими. В районах же с сухим климатом, где экзогенные геохимические аномалии (ореолы рассеяния) в верхних горизонтах элювиально-делювиальных образований лишь более или менее ослаблены, геоботанические методы могут применяться в сочетании с литохимическими.

3. Площади, перекрытые дальнепринесенными рыхлыми отложениями — аллювиальными, золовыми, ледниковыми, озерно-болотными. На таких площадях практически исключено применение визуальных геологических и литогеохимических (за исключением трудоемких глубинных) методов и в качестве одного из ведущих (в комплексе с геофизическими) могут применяться геоботанические методы поисков, но при определенных условиях.

Как уже отмечалось ранее, растения приобретают специфические черты, обусловленные составом дочетвертичных пород, при наличии геохимической связи между ними, а такая связь имеет место в тех случаях, когда корни растений проникают либо в дочетвертичные породы или продукты их выветривания, либо в грунтовые воды, непосредственно связанные с ними (если между поверхностью земли и дочетвертичными породами нет водоупорного горизонта — глин, суглинков, многолетней мерзлоты). Следовательно, мощность рыхлых отложений, при которой с успехом могут применяться геоботанические методы, приблизительно определяется глубиной проникновения корневой системы растений, варьирующей в широких пределах в зависимости от вида растения, климата, характера четвертичных отложений. В рыхлых (песчаных, супесчаных) отложениях корни некоторых видов деревьев и кустарников проникают в районах с гумидным климатом на глубину до 3—5 м, в районах с аридным климатом — на глубину до 20—25 м (например, корни саксаула).

Надо, однако, иметь в виду, что при значительных мощностях четвертичных отложений, особенно на площадях третьего типа, геохимическая связь между дочетвертичными горными породами и растениями ослаблена, в связи с чем геоботанические поисковые признаки проявлены слабо или даже практически не выражены. В таких случаях растения могут служить лишь объектом геохимического опробования (биогеохимический метод поисков).

В заключение необходимо сделать три замечания общего характера.

1. Планировать проведение геоботанических исследований в комплексе крупномасштабных геологосъемочных и поисковых работ следует лишь в том случае, когда в подлежащем изучению районе известны более или менее устойчивые геоботанические поисковые признаки.

2. В процессе полевых работ значение любого геоботанического признака необходимо систематически контролировать геохимическим опробованием растений, если только этот признак не интерпретируется однозначно на основании других данных, например геологических наблюдений, литогеохимического или гидрохимического опробования.

3. На площадях сельскохозяйственного и интенсивного промышленного освоения, где естественный растительный покров нарушен или замещен культурными растениями, возможность эффективного применения геоботанических методов поисков маловероятна.

Применение геоботанических методов в процессе поисковых работ. Геоботанические методы поисков применяются на первом и втором этапах крупномасштабных геологосъемочных и поисковых работ. На первом этапе, поисковая задача которого сводится к выделению перспективных площадей, прежде всего при дешифрировании аэрофотоснимков и аэровизуальных наблюдениях выявляются и наносятся на карту площади, участки, зоны, отличающиеся по флористическим признакам (растительный покров представлен определенными видами или сообществами растений).

Геологическое значение флористических признаков ориентировочно определяется при сравнении карты растительного покрова с имеющимися геологическими картами и картами физических полей (магнитного, электрического и др.). Например, совпадение в плане аномалии физического поля и площади распространения определенного вида или сообщества растений свидетельствует о том, что последняя соответствует либо какой-то горной породе, либо какому-то виду минерализации. Однозначная интерпретация флористических признаков достигается в процессе последующих комплексных наземных исследований на основе изучения морфологических и фитоценологических признаков, результатов геохимического опробования и главным образом геологических наблюдений на обнажениях и высыпках, по горным выработкам и буровым скважинам.

Таким образом, на первом этапе поисков геоботанические наблюдения в сочетании с другими методами исследований могут оказать существенную помощь в выявлении и картировании некоторых специфических разновидностей горных пород (интрузивных, битуминозных и др.) и тектонических нарушений, часто являющихся важными поисковыми критериями, а также геохимических аномалий рудных и нерудных (выходы нефти и нефтяных углеводородов, серы, бора и т. п.) полезных ископаемых и неглубоко залегающих подземных вод. Выявление и прослеживание флористических признаков не требует ни больших затрат времени, ни специальной подготовки, так что этот вид геоботанических поисков может быть принят на вооружение всеми геологами.

На втором этапе поисковых работ, в процессе изучения перспективных площадей с целью обнаружения тел полезных ископаемых, могут применяться все геоботанические поисковые признаки, причем во многих случаях ведущая роль принадлежит морфологическим, фитоценологическим или фенологическим признакам. Геоботанические исследования на этом этапе заключаются в систематическом изучении растительного покрова на всей перспективной площади с составлением детальных карт, на которых оконтуриваются участки интенсивного развития одного или нескольких геоботанических признаков или их сочетаний, соответствующих проявлению полезных ископаемых.

Этот вид исследований в определенных условиях, например на площадях третьего типа, может быть ведущим в комплексе детальных поисковых работ, но они могут успешно проводиться только специалистами — ботаниками или геоботаниками, т. е. в составе геологосъемочной или поисковой партии должен быть геоботанический отряд.

Шлиховой метод, заключающийся в извлечении, качественном и количественном изучении тяжелой фракции рыхлых отложений, эффективно применяется при поисках как россыпных месторождений ряда полезных ископаемых (золото, платина и платиноиды, касситерит, вольфрамит, алмаз, монацит, рутил, ильменит и др.), так и коренных месторождений всех перечисленных и многих иных тяжелых минералов*.

Тяжелые минералы в процессе эрозии горных пород, вмещающих полезные ископаемые, образуют механические ореолы рассеяния, нередко с высокими вторичными концентрациями этих минералов в виде россыпных месторождений. Они формируются в рыхлых отложениях различных генетических типов: элювиальных, делювиальных, пролювиальных, аллювиальных, морских, озерных, ледниковых и т. д. Наименее широко распространены ореолы и потоки рассеяния полезных минералов в аллювиальных, делювиальных и элювиальных образованиях, которые и являются обычными объектами шлихового опробования.

Практически шлиховой метод поисков при геологосъемочных работах масштаба 1:50 000 (1:25 000) заключается в систематическом опробовании рыхлых отложений в долинах рек, овражно-балочной и ложковой сети, на склонах речных долин и водоразделов, а в случае поисков элювиальных ореолов — на водораздельных поверхностях. Минимальное количество шлиховых проб, по данным И. М. Озерова, составляет 6—8 на 1 км² [319]. Плотность сети опробования может отклоняться от стандартной в зависимости от густоты речной сети и физико-географических особенностей района работ, определяющих относительные размеры ореолов рассеяния месторождений полезных ископаемых, представляющих практический интерес. Обычный объем пробы — 20 л, однако иногда он может быть меньше или больше стандартного в зависимости от минимальных содержаний и степени неравномерности распределения искомого минерала в опробуемых рыхлых отложениях. Кроме того, объем пробы может быть уменьшен за счет двойной доводки шлиха, производимой небольшими порциями и повышающей извлечение тяжелой фракции до 70—95% по сравнению с 20—45% при однократной доводке [424, 227].

Отобранные шлиховые пробы подвергаются промывке, состоящей из трех последовательных операций: 1) отмучивание глинистой фракции и выброс галек; 2) отмывка наиболее легких минералов; 3) доводка шлиха. При шлиховых поисках минералов с относительно низкой плотностью (циркона, монацита, касситерита, ильменита, алмаза и др.) доводка производится либо до серого шлиха — при высоком содержании ильменита, хромшпинелидов, магнетита, либо красноватого — при заметном количестве граната, либо зеленоватого — в случае преобладания эпидота, пироксенов, амфиболов. При шлиховом опробовании на минералы с высокой плотностью (золото, платина и платиноиды) доводка производится до черного шлиха.

При поисках россыпных и коренных месторождений полезных ископаемых на всей изучаемой площади с целью выявления перспективных участков опробуется главным образом аллювий. Рыхлые отложения других генетических типов чаще всего являются основным объектом опробования на этапе детальных поисков месторождений в пределах выявленных перспективных участков.

* В случае концентрации полезных минералов преимущественно во фракциях 0,25—0,1 и 0,1—0,01 мм шлиховой метод поисков месторождений этих минералов непригоден, так как при промывке шлихов извлечение их составляет менее 20%. Это было показано Б. Н. Соколовым на примере прибрежно-морских титан-циркониевых россыпей [398].

Применение шлихового метода тесно связано с изучением геолого-геоморфологического строения территории. Так, в молодых или омоложенных долинах опробованию подвергаются в основном современные русловые отложения — галечники, гравий, разнородные пески с галькой и примесью глины. Пробы отбирают либо с поверхности, либо из неглубоких копуш в тех местах, где можно ожидать наибольшего обогащения аллювия тяжелыми минералами: непосредственно ниже резкого перегиба продольного профиля русла, на крутых поворотах, косах, отмелях, перекатах. Отбор проб в пределах зрелых долин производится из террасовых, пойменных и русловых отложений с помощью проходки шурфов и буровых скважин, располагающихся по линиям, пересекающим долину. Интервалы между линиями составляют 0,5—1,0 км, а между выработками — 20—40 м. Во всех случаях следует вскрыть горными выработками бровки, площадки и тыловые швы террас. Аллювиальные отложения опробуются погоризонтно на всю мощность; особенно важно опробовать приплотиковые слои и верхнюю часть плотика. Это необходимо потому, что в неровностях и трещинах поверхностного слоя пород плотика наблюдаются, как правило, повышенные концентрации тяжелых полезных минералов. Кроме того, в сложных россыпях встречаются ложные плотники [25], служащие торфами для нижележащего продуктивного слоя, которые необходимо проходить горными выработками.

Опробование склоновых отложений проводится главным образом после того, как изучение шлихов из аллювия позволит наметить участки, перспективные для поисков делювиальных россыпей или коренных месторождений. Тогда на участке, где аллювий обогащен тяжелыми минералами, по обе стороны долины закладываются поисковые линии для установления местоположения возможной делювиальной россыпи или рудного тела. Дальнейшие поиски ведутся способом заложения линий выработок, направленных по склону так, чтобы оконтурить площадь разноса тяжелых минералов (делювиальную россыпь) и по шлейфу рассеяния обнаружить коренной источник. В общем случае делювиальные россыпи практически менее важны, чем аллювиальные. Они образуются, как правило, вблизи богатого коренного источника и более характерны для минералов с низкой твердостью и механической устойчивостью к истиранию — таких как самородная медь, киноварь, отчасти серебро [446]. Однако известны и делювиальные россыпи более твердых и абразивно устойчивых минералов: касситерита, бадделента, лопарита, пирохлора, колумбита-танталита и др. [311, 446].

При площадном опробовании с целью поисков коренных источников полезных минералов из коренных пород, благоприятных для оруденения, берутся протолочные пробы. Для этого невзветрелая порода (7—8 кг) дробится в ступе до размера зерен 1 мм и промывается до получения искусственного шлиха. Изучение протолочек необходимо для увязки с результатами шлихового опробования рыхлых отложений.

При использовании шлихового метода следует помнить, что полезные минералы как в коренных месторождениях, так и в россыпях встречаются в определенных ассоциациях, причем нередко само полезное ископаемое находится в рассеянном состоянии, а его спутники по коренным источникам встречаются значительно чаще и являются поэтому важным поисковым признаком.

Ниже приведена табл. 5 типоморфных ассоциаций минералов в шлихах, связанных с коренными источниками, по Е. М. Захаровой [167], с некоторыми нашими изменениями.

Парагенетические спутники ценных минералов встречаются совместно с последними в рыхлых отложениях только поблизости коренного источника — в россыпях ближнего сноса. Вдали от коренного источника полезные минералы могут сопровождаться совершенно иными аллюви-

Типоморфные ассоциации минералов в шлихах, связанные с коренными источниками

Минерал	Спутники в шлихах	Коренные источники
Алмаз	Пикроильменит, пироп, хромдиопсид, хромшпинелиды, оливин Хромшпинелиды, платина, осмистый иридий, реже — ильменит, магнетит, оливин	Кимберлиты Перидотиты, дуниты
Берилл	Сподумен, колумбит, турмалин, топаз, фенакит, флюорит Топаз, турмалин, флюорит	Гранитные пегматиты Грейзены
Вольфрамит	Касситерит, халькопирит, арсенопирит, шеелит, флюорит	Высокотемпературные кварцевые жилы
Золото	Пирит, лимонит, магнетит, ильменит, турмалин, циркон, рутил, шеелит, монацит, арсенопирит	Кварцевые, кварц-карбонатные и кварц-барит-флюоритовые жилы
Касситерит	Полихромный турмалин, топаз, вольфрамит, колумбит, сподумен, берилл Топаз, флюорит, вольфрамит, молибденит, арсенопирит, шеелит, колумбит, берилл, монацит, турмалин, пирит, халькопирит	Пегматитовые жилы Касситерит-сульфидная формация
Киноварь	Халцедон, кальцит, барит, флюорит, пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит	Телетермальные месторождения
Колумбит, танталит	Циркон, уранинит, самарскит, гадолинит, ортит, монацит Сподумен, апатит, берилл, полихромный турмалин, касситерит, самарскит, флюорит	Редкоземельные пегматиты Натрий-литиевые пегматиты
Ксенотим	Циртолит, топаз, уранинит, монацит, гранат, апатит, ортит	Гранитные пегматиты
Монацит	Циркон, рутил, лейкоксен, ильменит, турмалин, касситерит, корунд, шпинель, хромшпинелиды Циркон, апатит, ильменит, ортит, тантало-ниобаты, торит, гранат	Древние коры выветривания Гранитные пегматиты
Платина	Хромшпинелиды, магнетит, титаномагнетит, оливин, хромдиопсид; в древних россыпях также мартит, лимонит, шпинель Магнетит, ильменит, алмаз, хромшпинелиды	Габбро-перидотиты Нориты, габбро-диабазы, долериты
Хромшпинелиды	Оливин, платиноиды, магнетит, уваровит, хромдиопсид, хромовые хлориты	Дуниты, перидотиты, гарцбургиты
Шеелит	Гранат, диопсид, волластонит, молибденит, халькопирит, пирротин, пирит, арсенопирит, сфалерит	Скарны

альными спутниками — обычно абразивно стойкими минералами. Поэтому при поисках россыпей большое значение имеет устойчивость как полезных шлиховых минералов, так и минералов-спутников. Она обусловлена химической и механической (абразивной) стойкостью, которая прямо пропорциональна твердости и вязкости, обратно пропорциональна числу и совершенству направлений спайности.

Относительная миграционная способность минералов

Малая	Умеренная	Высокая	Малая	Умеренная	Высокая
Киноварь Арсенопирит Вольфрамит Пирит Шеелит Оливин Авгит Гиперстен	Магнетит Апатит Сфен Альмандин Ставролит Анаказ Монацит Дистен	Хромшпинелиды Ильменит Гематит Лейкоксен Осмистый иридий Топаз Рутил Турмалин	Барит Гроссуляр-андрадит Флюорит Роговая обманка Диопсид Колумбит Актинолит Эпидот	Касситерит Андалузит Золото Лимонит	Платина Циркон Корунд Алмаз

При переносе минералов кроме устойчивости имеют значение их плотность и другие свойства. В табл. 6 приведена относительная миграционная способность некоторых минералов, по А. А. Кухаренко.

Не меньшее значение для миграционной способности минералов имеют также размер и форма зерен. Так, мелкие зерна минералов часто независимо от их плотности могут во взвешенном состоянии переноситься достаточно далеко от коренного источника (плавучее «косовое» золото). Нередко мелкие зерна, обладающие призматической формой (циркон, некоторые разновидности касситерита, рутила, кианита, вытянутые чешуйки золота и платины), также переносятся на большие расстояния, практически не окатываясь даже при длительном аллювиальном переносе; сохранение ими в этом случае угловатой формы отнюдь не указывает на близость коренного источника. В. М. Крейтер считает, что только крупные ($>1,0$ мм) зерна, сохранившие свои угловатые и кристаллографические очертания, могут уверенно свидетельствовать о близости коренного источника [216].

Использование шлихового метода требует предварительного изучения шлихов в поле с тем, чтобы направлять дальнейшие поиски и проводить дополнительное опробование на появившихся перспективных участках. В полевой шливовой лаборатории, согласно В. М. Крейтеру, могут быть определены: 1) списочный состав и количественное содержание полезных минералов, 2) размеры их зерен, 3) форма кристаллов, 4) блеск и цвет полезных минералов, 5) степень окатанности зерен, 6) наличие сростков.

Выше уже указывалось, что шливовой метод играет существенную роль как при поисках россыпей, так и некоторых типов коренных месторождений. О. А. Глико и Ю. В. Шарков [106], группируя рудные месторождения по поисковым признакам и методам поисков, считают шливовое опробование одним из ведущих методов при поисках месторождений редких металлов и титана, связанных со щелочными породами; железа, титана, хрома, никеля, платины, преимущественно связанных с основными и ультраосновными породами; месторождений цветных металлов и золота (Sn, W, Au, Hg), лития и бериллия.

Вспомогательное значение, по данным тех же авторов, шливовое опробование имеет при поисках месторождений сульфидного типа (Mo, Cu, Pb, Zn, Co, Sb, Hg, Au). Детализация поисков может быть осуществлена шлиховым методом в шести из девяти выделенных авторами поисковых групп рудных месторождений.

Шливовой метод при поисках некоторых коренных месторождений применяется в комплексе с другими методами, в частности с геохимическими. В. И. Красников отмечает, что при поисках коренных месторождений усовершенствование шливового метода возможно прежде

всего за счет его сочетания с металлометрическим опробованием мелких фракций аллювия и делювиально-элювиальных отложений [214]. А. В. Костерин предлагает сочетать шлихо-минералогический метод поисков с шлихо-геохимическим, основанным на определении элементного (химического) состава шлихов.

Уже сейчас некоторые геологические организации применяют комплексную методику, основанную на сочетании шлихового и металлометрического методов. Так, геологи СЗТГУ (В. В. Сыроватский и другие) при крупномасштабных поисковых работах на золото предлагают отбирать шлиховые пробы в объеме, достаточном для получения серого шлиха массой 40—50 г; после минералогического анализа половина навески направляется на спектрохимический анализ на золото, который обладает большой чувствительностью (0,03 г/т, тогда как чувствительность пробирного анализа 0,4—0,6 г/т).

Применение шлихового метода при поисках эндогенных месторождений должно сопровождаться кроме изучения геолого-геоморфологического строения территории выяснением палеогеографических, в частности палеоклиматических, условий времени формирования рыхлых образований, т. е. условий, оказывавших непосредственное влияние на характер выветривания. Так, А. А. Кухаренко отмечает, что поведение некоторых второстепенных и особенно аксессуарных минералов в условиях химического выветривания существенно отличается от поведения порообразующих минералов, и приводит табл. 7 относительной устойчивости этих минералов в процессе химического выветривания. В условиях преобладания физического выветривания устойчивость минералов соответствует их миграционной способности (см. табл. 6).

Таблица 7

Относительная устойчивость минералов в процессе химического выветривания

Неустойчивые	Умеренно устойчивые	Устойчивые	Весьма устойчивые
Пирротин	Вольфрамит	Альмандин	Хромшпинелиды
Сфалерит	Шеелит	Магнетит	Гематит
Халькопирит	Апатит	Титаномагнетит	Лимонит
Арсенопирит	Андрадит	Колумбит-танталит	Топаз
Киноварь	Гроссуляр	Сфен	Турмалин
Пирит	Ортит	Силлиманит	Брукит
Оливин	Диопсид	Дистен	Анатаз
Эгириин	Актинолит	Барит	Лейкоксен
Ромбические пироксены	Цоизит	Торнит	Рутил
Щелочные амфиболы	Эпидот	Перовскит	Шпинель
Меланит	Хлоритонд	Ильменит	Платина
Авгит	Ставролит	Ксенотим	Осмистый иридий
Биотит		Касситерит	Золото
Роговая обманка		Андалузит	Циркон
			Корунд
			Алмаз

Результаты шлихового анализа отражаются на шлиховых картах, которые должны показывать распределение и концентрацию полезных минералов в шлихах, позволяющие определить местоположение их коренных источников и подвести к обнаружению россыпных и коренных месторождений. Единой общепринятой методики составления шлиховых карт по результатам количественно-минералогического анализа в настоящее время не существует. Общим является лишь то, что их составляют на упрощенной геологической основе, которую раскрашивают бледными тонами. Данные о полезных минералах шлихов наносят яркими цветными знаками. Обязательно показывают рельеф в горизонта-

лях*, некоторые элементы геоморфологии, палеогеографии. Кроме того, наносят поисковые признаки, выявленные в процессе геологической съемки: зоны развития гидротермально измененных пород, поля различных жил, контакты интрузий с вмещающими породами и т. п., а также все коренные выходы рудных тел.

По содержанию шлиховые карты делятся на такие, где показаны только концентрации полезных минералов шлихов, и на так называемые фоновые шлиховые карты, на которых отражается минералогический спектр тяжелой фракции в целом. Шлиховые карты на полезные минералы могут быть мономинеральными и полиминеральными.

По способу графического изображения составляемые в настоящее время шлиховые карты довольно разнообразны. Однако при всем многообразии они могут быть сведены к трем вариантам нанесения данных количественно-минералогического состава шлихов:

1) в точках взятия шлихов — точечные шлиховые карты; состав полезных минералов может быть показан в виде циклограмм, квадратов или столбиков (рис. 59, а, б, в);

2) в форме лент (полос), идущих вдоль русел рек, — ленточные шлиховые карты;

3) равномерное нанесение результатов на площади — площадные карты. Последний вариант применяется наиболее редко. Он используется главным образом при составлении карт минеральных ассоциаций и карт изоконцентрат.

Перечисленные три варианта карт различаются не только по способу изображения минерального состава шлихов, но и по степени обобщения материала. Точечные шлиховые карты являются практически регистрационными картами фактического материала (рис. 60). На ленточных шлиховых картах данные обобщены в форме механических потоков рассеяния. Таким образом, они являются одновременно и картами линейных ореолов рассеяния и вплотную подводят к прогнозу коренных и россыпных месторождений некоторых полезных ископаемых. Площадные карты также различаются по степени обобщения материала. В одних случаях они служат регистрационными картами фактического материала — частный случай точечных шлиховых карт. В других случаях материал синтезирован на уровне минеральных ассоциаций и терригенно-минералогических провинций, что позволяет увязать минеральный состав шлихов из рыхлых отложений с составом коренных пород. Последнее важно не только с точки зрения поисков коренных месторождений полезных ископаемых, но и для решения общегеологических и палеогеографических задач. Наконец, мономинеральные карты изоконцентрат позволяют оконтурить механические ореолы рассеяния изометрической формы и подводят в совокупности с другими критериями рудоносности к прогнозу коренных и россыпных месторождений.

Часто практикуется совмещение разных способов графического изображения данных минералогического состава шлихов на картах. Наиболее обычно сочетание цветных лент по долинам рек с точечным изображением в форме циклограмм, кругов и других знаков. Циклограммы могут отражать количественный состав тяжелой фракции в каждой точке или в среднем по нескольким точкам (в случае его односторонности), ленты — состав минеральных ассоциаций.

Частный случай сочетания ленточного и точечного изображения приведен на макете шлиховой карты, составленной М. И. Плотниковой и О. Г. Салтыковым (рис. 61), где в форме лент выражено содержание минералов-спутников алмаза — пироба и пикроильменита, а кружками разного диаметра — средние массы их зерен (размеры), взятые в определенных интервалах.

* Приведенные макеты шлиховых карт показаны без горизонталей.

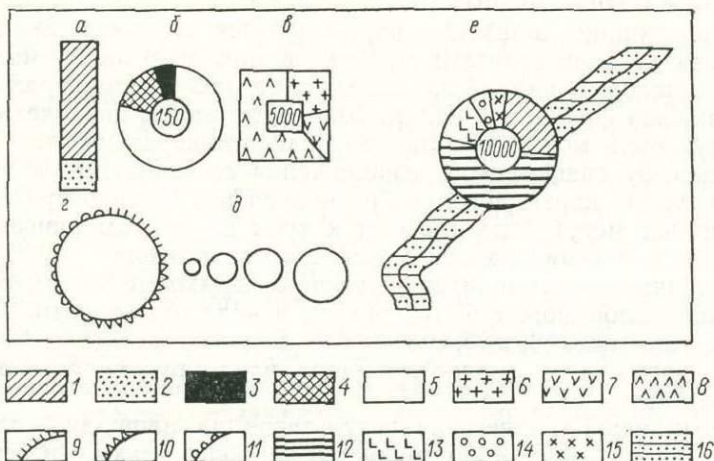


Рис. 59. Примеры изображения состава шлихов на картах.

a — в форме столбиков: 1 — ильменит, 2 — алмазид; *б* — в виде циклограмм: 3 — золото, 4 — шеелит, 5 — касситерит, цифра в кружке в центре циклограммы — содержание полезных минералов, г/м³ или г/т; *в* — в форме квадратов: 6 — циркон, 7 — монацит, 8 — рутил, цифра в квадрате в центре — содержание полезных минералов, г/м³ или г/т; 9 — изображение степени окатанности зерен минералов: 9 — угловатые, 10 — слабо окатанные, 11 — хорошо окатанные; *д* — средняя масса зерен (размеры) полезных минералов, иллюстрируется кругами, диаметр которых прямо пропорционален средней массе; *е* — изображение состава шлиха в виде циклограммы на фоне минеральной ассоциации (в ленте): 12 — магнетит, 13 — пироксен, 14 — оливин, 15 — гранат, 16 — ильменит-магнетитовая ассоциация.

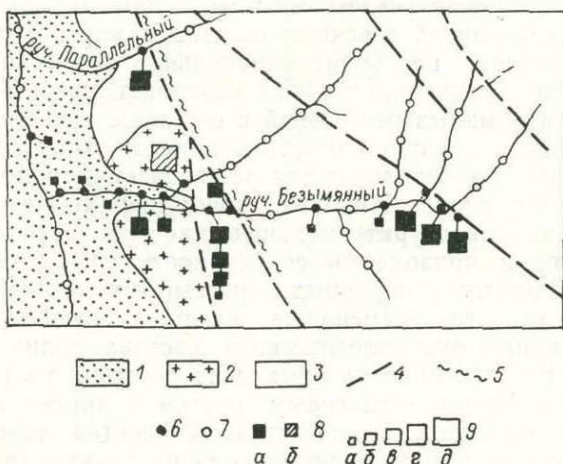
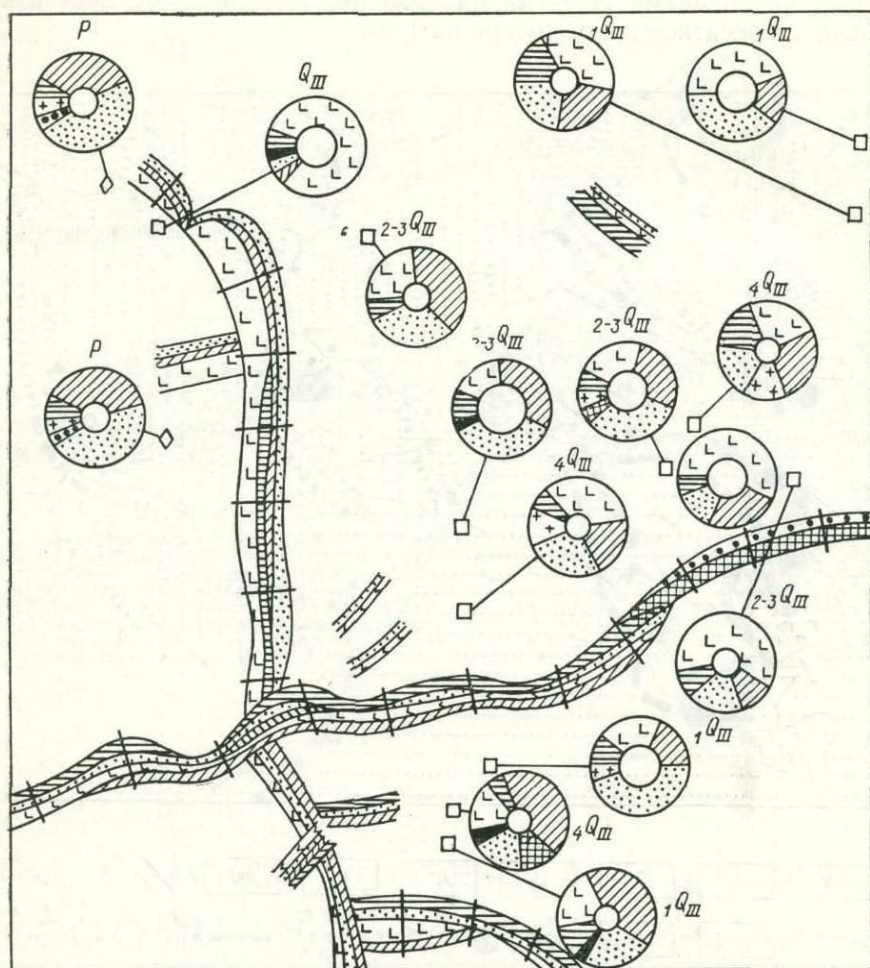


Рис. 60. Макет точечной шлиховой карты крупного масштаба (по В. М. Моралеву и К. Г. Чешихиной).

1 — четвертичные аллювиальные отложения; 2 — мезозойские гранодиориты; 3 — мезозойские вулканогенные отложения; 4 — разрывные нарушения; 5 — предполагаемые золотоносные зоны пиритизации; 6 — шлихи, содержащие знаки золота; 7 — шлихи, не содержащие золота; 8 — зерна золота пластинчатой формы: *a* — окатанные, *б* — угловато-окатанные; 9 — размер зерен золота, мм: *a* — около 0,01, *б* — 0,1, *в* — 0,2, *г* — 0,3, *д* — 0,4—0,5.



0 0,1 1 10 100

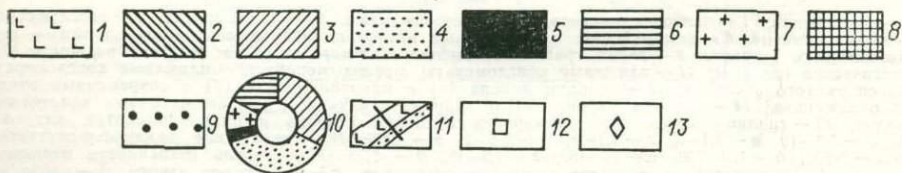


Рис. 62. Макет ленточной фоновой шливовой карты с изображением содержания тяжелой фракции в логарифмическом масштабе. Составила Я. Л. Стахевич по методике М. А. Крутойярского.

1 — пироксен моноклинный; 2 — хромдиопсид; 3 — ильменит; 4 — алмаздин; 5 — пироп; 6 — магнетит; 7 — циркон; 8 — лимонит; 9 — пирит; 10 — диаграмма минералогического состава тяжелой фракции террасовых отложений и коренных пород (%), содержание тяжелой фракции отражено диаметром внутреннего круга в логарифмическом масштабе; места отбора шливовых проб: 11 — из русла; 12 — из террас; 13 — из коренных пород.

среднюю массу зерен, а также типоморфные признаки минералов: их кристаллографическую форму, если они встречаются в виде кристаллов, сохранность и степень окатанности зерен, цвет и т. п. Часто важнее показать даже не содержание, а размеры, форму и степень окатанности зерен ценного минерала, как это изображено на карте, составленной П. М. Моралевым и К. Г. Чешихиной [295, рис. 2].

Присутствие кристаллов и их обломков размером не менее 1 мм свидетельствует о близости коренных источников, морфологический тип кристаллов — о составе пород, являющихся источником полезного минерала. Так, например, согласно А. А. Кухаренко [227], устанавливается известная связь цирконов различных морфологических типов, характеризующихся преобладанием тех или иных кристаллографических форм и разным значением коэффициента удлиненности, с породами определенного состава. Цирконовый тип кристаллов наиболее обычен в сиенитах и щелочных сиенитах, гиацинтовый — распространен в различных гранитах и связанных с ними жильных породах, изометрический — свойствен преимущественно гранодиоритам, плагиогранитам, диорит-порфирам и меланократовым жильным гранитоидам. Дипирамидальный циркон характерен для щелочных пород — нефелиновых сиенитов, ийолитов, карбонатитов. К. Н. Озеров указал на типоморфизм корунда в зависимости от химизма и условий образования корундсодержащих пород [318].

Таким образом, присутствие в россыпях кристаллов циркона, корунда и некоторых других минералов, характеризующихся хорошей кристаллографической огранкой и различием морфологических типов в зависимости от химизма и условий образования пород, может свидетельствовать о близости и составе коренных источников, и это должно найти отражение на шлиховой карте.

В тех случаях, когда полезным минералам или их спутникам не свойственна кристаллографическая огранка, например спутникам алмаза — пиропу и пикроильмениту, характеризующимся первично-округлой формой, на шлиховой карте должны найти отражение степень их сохранности (целые зерна, обломанные или осколки) и износ первичной шагреновой поверхности (неизношенные, слабо или сильно изношенные), как это показано на рис. 61.

Шлиховые карты, составленные с учетом размеров (средней массы зерен) и типоморфных особенностей полезных минералов, являются наиболее важными документами при составлении карт прогноза месторождений полезных ископаемых.

Шлиховые карты могут сопровождаться серией профилей, показывающих изменение содержания, размеров и других особенностей полезных минералов по продольным профилям рек, как это выполнено, например, Ю. Н. Трушковым, В. И. Тимофеевым и Э. Д. Избековым для золота из русловых и косовых россыпей р. Вилюя [423], О. Г. Салтыковым и Г. И. Скриплевой для пикроильменита из разновозрастных потоковых отложений Малоботуобинского района [376] и многими другими.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕННЫХ ОКОЛОРУДНЫХ ПОРОД

Изучение околорудных изменений значительно расширяет возможности геофизических методов при поисках некоторых типов месторождений полезных ископаемых, которые в силу ряда причин непосредственно не могут быть выявлены. В первую очередь это относится к тем месторождениям, руды которых по физическим свойствам мало отли-

чаются от рудовмещающих пород и, следовательно, не могут вызвать заметных искажений геофизических полей. Кроме того, имея в виду, что измененные околорудные породы могут занимать значительно большие объемы, чем рудные тела, и в ряде случаев отличаться по физическим свойствам от неизмененных вмещающих пород, следует ожидать значительного увеличения глубинности поисковых работ.

Как показал А. А. Смелов, разнообразные процессы околорудного изменения существенно влияют на физические свойства горных пород. Эти изменения могут быть различными в зависимости от первоначального состава пород и характера их преобразования в процессе околорудного изменения.

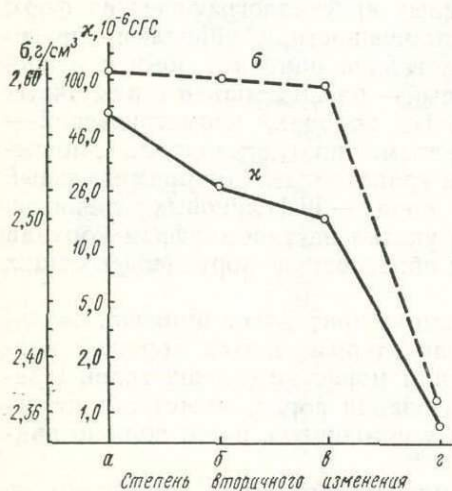


Рис. 63. Зависимость магнитной восприимчивости κ и плотности σ порфириров от степени вторичного изменения (по А. А. Смелову).

а — порфирит неизмененный; б — кварц-серицитовый сланец по порфириту; в — хлоритизированный и серицитизированный порфирит; г — вторичный кварцит.

Процессы окварцевания пород и образования вторичных кварцитов приводят к практически полному размагничиванию пород. Существенно уменьшается и их плотность.

Рассмотренные процессы околорудного изменения редко проявляются изолированно, без взаимосвязи. Чаще они накладываются друг на друга, создавая определенную зональность в пространственном распределении измененных пород. В то же время, сопоставляя полученные зависимости, можно видеть, что процессы серицитизации, хлоритизации и окварцевания влияют на магнитную восприимчивость и плотность пород аналогичным образом. Во всех случаях наблюдается главным образом уменьшение этих параметров с увеличением интенсивности изменения пород. Это создает предпосылки для возникновения зональности в площадном распределении физических свойств.

Отмеченная зональность распределения физических свойств изображена на рис. 63. Рудовмещающим порфирирам, находящимся на расстоянии 1 км от оруденения и не затронутым процессами околорудного изменения, соответствуют значения $\kappa = 70 \cdot 10^{-6}$ СГС. Те же порфириды, находящиеся в 500 м от оруденения, сильно окварцованы и серицитизированы и превращены в кварц-серицитовые сланцы, которые характеризуются $\kappa = 24 \cdot 10^{-6}$ СГС. Сильно хлоритизированным и серицитизированным порфирирам соответствуют значения $\kappa = 16 \cdot 10^{-6}$ СГС. Рудоносные вторичные кварциты, находящиеся в непосредственной близости от ру-

рудного изменения. Так, при изучении физических свойств гранодиоритов, вмещающих редкометалльное вольфрам-молибденовое оруденение, было установлено значительное уменьшение их магнитной восприимчивости (от $550 \cdot 10^{-6}$ до 150×10^{-6} СГС) и плотности (от 2,63 до 2,54 г/см³) при увеличении степени серицитизации пород от слабой до сильной. Прямая корреляционная связь со степенью серицитизации установлена для общей естественной радиоактивности и поляризуемости.

При хлоритизации пород также наблюдается существенное уменьшение магнитной восприимчивости и плотности. Однако следует иметь в виду, что уменьшение намагниченности при хлоритизации пород может происходить лишь в том случае, когда все привносимое двухвалентное железо будет связываться в решетке хлорита или же привнос этого элемента будет незначитель-

доподводящего канала, практически немагнитны ($\kappa = 8 \cdot 10^{-6}$ СГС). Плотность измененных порфиритов соответственно уменьшается от 2,609 до 2,596 г/см³ и для вторичных кварцитов принимает значение 2,369 г/см³.

Основными геофизическими методами изучения измененных околорудных пород являются магниторазведка и электроразведка, реже гравиразведка. С помощью этих методов обычно удается выявить и оконтурить измененные околорудные породы самого различного типа. Основные признаки выделения этих пород — понижение интенсивности магнитного поля, изменение его характера, относительное изменение величины кажущегося сопротивления или характера графиков $\rho_{\text{к}}$, наличие специфических электрических аномалий методов вызванной поляризации, естественного электрического поля и т. д.

Рассмотрим на конкретных примерах методику изучения измененных околорудных пород с помощью геофизических методов. Выделение измененных околорудных пород по изменению интенсивности магнитного поля можно показать на примере редкометального месторождения Кара-Оба (Центральный Казахстан). Месторождение приурочено к эффузивно-пирокластическим образованиям, прорванным лейкократовыми гранитами Кара-Обинской интрузии. Периферийные части месторождения слагаются известняками, роговообманковыми гранитами и гранодиоритами. В результате внедрения Кара-Обинской интрузии эффузивно-пирокластические образования интенсивно ороговикованы. При формировании месторождения ороговикованные породы и лейкократовые граниты в зоне оруденения подверглись интенсивной переработке, выразившейся в грейзенизации, окварцевании и серицитизации.

Эффузивно-пирокластические породы характеризуются широкими пределами изменения магнитной восприимчивости [$\kappa = (0 \div 3500) \times 10^{-6}$ СГС], значение которой находится в прямой зависимости от характера и интенсивности процессов метаморфизма. Наиболее высокие значения κ соответствуют ороговикованным породам, низкие значения этого параметра характерны для интенсивно измененных околорудных образований. К немагнитным относятся также и измененные лейкократовые граниты. Более высокие значения магнитной восприимчивости соответствуют роговообманковым гранитам и гранодиоритам ($\kappa = 450 \times 10^{-6}$ СГС). Как видно на рис. 64, в центральной части участка на фоне резко переменного магнитного поля отчетливо выделяется изометрическая область спокойного отрицательного поля, которое соответствует измененным околорудным породам, вмещающим все участки Кара-Обинского месторождения. Необходимо отметить, что спокойные пониженные поля могут наблюдаться не только над измененными породами. Они могут соответствовать различным геологическим образованиям, обладающим относительно низкой намагниченностью. Поэтому для установления связи специфических магнитных полей с измененными породами необходимо производить отбор образцов горных пород для петрофизических исследований. Значительную помощь могут оказать также данные геологических наблюдений, специально проводимых для уточнения природы геофизических полей.

Изменение характера магнитного поля над измененными околорудными породами показано на рис. 65. На участке работ развита толща плагиоклазовых порфиритов, характеризующаяся значительной неоднородностью магнитной восприимчивости. Процессы околорудного изменения, связанные с известным здесь полиметаллическим месторождением и выразившиеся в серицитизации, хлоритизации, турмалинизации и сульфидизации пород, привели к существенному уменьшению намагниченности порфиритов.

Неизмененным порфиритам, залегающим за пределами рудного поля, соответствует резкопеременное магнитное поле, интенсивностью до

1000 γ. Совершенно иной вид имеет магнитное поле над измененными порфиритами, приобретающее весьма спокойный характер и по интенсивности не превышающее 100 γ. Здесь также выявлена интенсивная аномалия естественного электрического поля, частично совпадающая с измененными порфиритами и, по-видимому, вызванная участками, обогащенными сульфидной минерализацией.

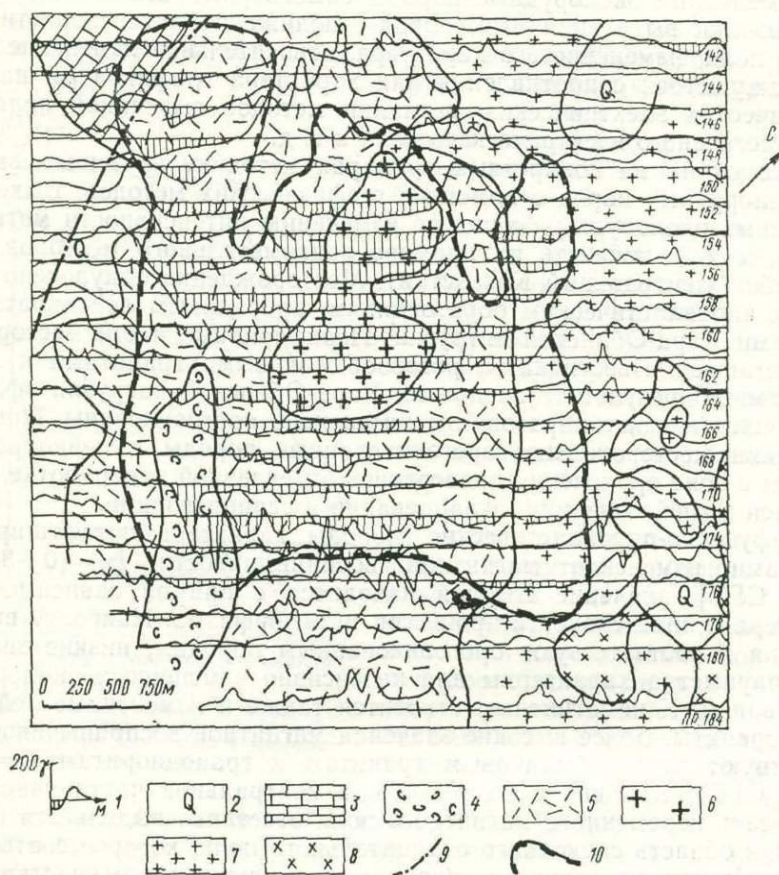


Рис. 64. Характер магнитного поля Z_a над гидротермально измененными породами (по Т. А. Акишеву).

1 — графики Z_a ; 2 — четвертичные отложения; 3 — мергели; 4 — фельзиты, фельзит-порфиры и их туфы; 5 — кварцевые порфиры и их туфы; 6 — лейкократовые граниты; 7 — роговообманковые граниты; 8 — гранодиориты; 9 — разрывные нарушения; 10 — контур гидротермально измененных пород (по данным магниторазведки).

При наличии комплексных геофизических аномалий значительно повышается достоверность установления их связи с измененными околорудными породами. Однако и в этом случае, как и в первом примере, когда измененные породы устанавливались лишь по магнитному полю, для окончательного суждения о геологических причинах, вызывающих комплексные аномалии, также должны учитываться результаты петрофизических и геологических исследований. Даже в тех случаях, когда измененным породам соответствует целая серия геофизических аномалий, например магнитная, вызванной поляризации и электрического сопротивления (рис. 66), связь их с теми или иными геологическими образованиями устанавливается лишь с учетом данных петрофизических и геологических исследований.

При изучении измененных осадочных пород основным методом их обнаружения может оказаться электропрофилирование, а при наличии в них сульфидной минерализации — также методы естественного электрического поля или вызванной поляризации. Пример использования в этих целях дипольного электрического профилирования, метода естественного электрического поля и магниторазведки представлен на рис. 67. На изученном участке развиты песчано-глинистые отложения, к которым приурочено олово-полиметаллическое месторождение. Про-

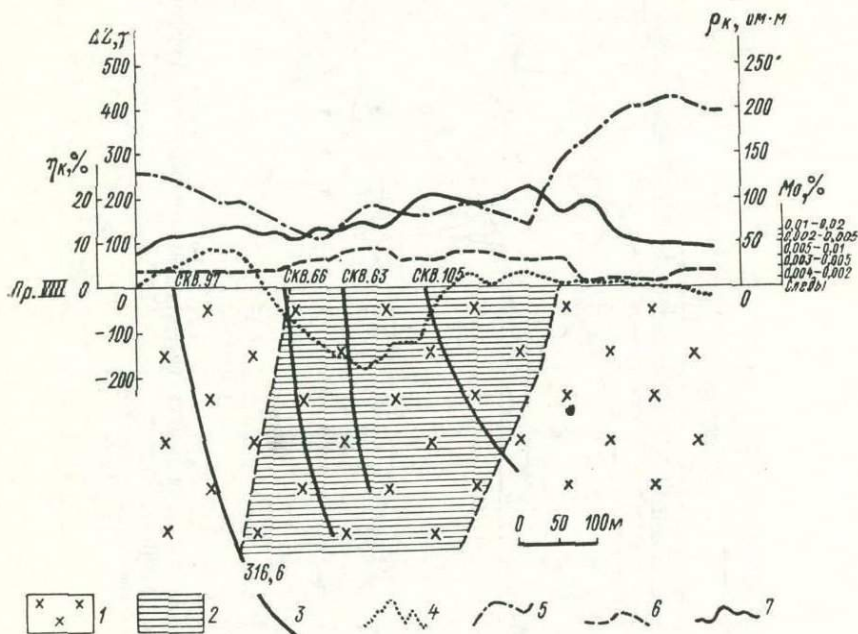


Рис. 66. Картирование гидротермально измененных гранодиоритов по геофизическим данным (по Н. А. Бобринцеву и М. И. Жукову).

1 — гранодиориты; 2 — зоны интенсивного гидротермального изменения гранодиоритов; 3 — скважины; 4—7 — графики: 4 — ΔZ ; 5 — ρ_k по методу комбинированного электропрофилирования; 6 — содержание молибдена в делювии; 7 — η_k по методу вызванной поляризации.

цессы окolorудного изменения в пределах рудного поля выражены в окварцевании, хлоритизации, турмалинизации и сульфидизации пород.

Измененные песчано-глинистые породы на графиках ρ_k дипольного профилирования четко выделяются зоной повышенных значений кажущегося сопротивления на фоне сравнительно низких значений, соответствующих неизменным породам, залегающим за пределами рудного поля. Они также отличаются от последних и по характеру кривой ρ_k , которая здесь приобретает изрезанный вид, при значительных пределах вариации кажущегося сопротивления (от 100 до 5000 ом·м). В пределах рудного поля отмечена широкая аномалия естественного электрического поля, частично совпадающая с зоной высоких значений ρ_k и, по-видимому, вызванная сульфидизированными породами. Магнитное поле на участке близко к нормальному. Отдельные локальные аномалии ΔZ , возможно, соответствуют дайкам магнитных пород.

Границы распространения измененных окolorудных пород с помощью геофизических методов в большинстве случаев устанавливаются лишь ориентировочно, ввиду плавного изменения физических свойств от измененных к неизменным разновидностям пород. Поэтому для установления данной границы целесообразно применять наиболее простой метод, использующий точку перегиба кривой. Применение других,

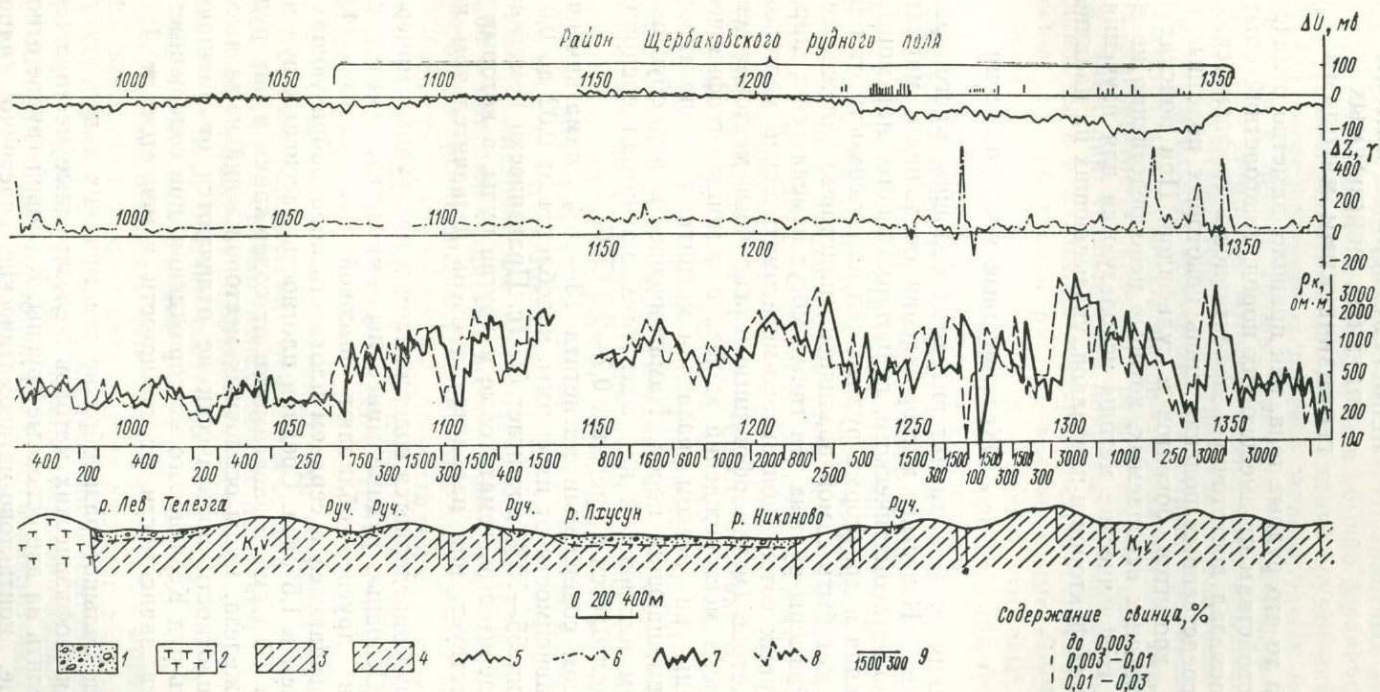


Рис. 67. Картирование гидротермально измененных осадочных пород по геофизическим данным (по Ю. А. Чудинову).
 1 — делювиальные отложения; 2 — порфириды; 3 — глинистые и песчано-глинистые сланцы; 4 — песчаники; 5—8 — графики: 5 — потенциала естественного электрического поля ΔU ; 6 — магнитного поля ΔZ ; 7 — ρ_k дипольного профилирования с установкой AA'MN ($MN=20$ м, $I_1=-50$ м; $L_2=100$ м); 8 — ρ_k дипольного профилирования с установкой MNB'B; 9 — граница раздела пород с различным электрическим сопротивлением по данным интерпретации кривых ρ_k .

более точных, но трудоемких способов оправдано лишь в сравнительно редких случаях, когда на границе раздела отмечается резкий перепад физических свойств.

НЕПОСРЕДСТВЕННЫЕ ПОИСКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Несмотря на то что рудные тела, как правило, заметно отличаются по физическим свойствам от вмещающих пород, многолетний опыт поисковых работ показал достаточную эффективность геофизических методов при непосредственных поисках лишь некоторых полезных ископаемых: железа, хромитов, бокситов и сульфидов. При поисках ряда других типов полезных ископаемых, которые непосредственно не могут быть выявлены, геофизические методы используются для изучения рудоконтролирующих факторов и признаков, указывающих на наличие полезного ископаемого.

Железорудные месторождения

Месторождения железа характеризуются большим многообразием генетических типов. Известны месторождения осадочного, магматического, контактово-метасоматического, гидротермального, метаморфогенного происхождения и др. Форма рудных тел в зависимости от генетического типа может быть самой различной (пластовые залежи, линзы, жилы и т. д.). Размеры рудных тел также могут изменяться в широких пределах: от первых сотен (контактово-метасоматические месторождения) до тысяч метров (метаморфогенные и осадочные месторождения).

Прямые поиски месторождений железа с помощью геофизических методов основаны на резком различии магнитных и плотностных свойств руд и вмещающих пород. Намагниченность руд обусловлена главным образом наличием в них магнетита, магнитная восприимчивость которого колеблется в пределах 0,7—2,0 СГС.

При объемном содержании магнетита 13—16% намагниченность рудных тел, в зависимости от их формы, колеблется от 0,02 до 0,08 гс, а при содержании 55—75% достигает 0,5 гс. Практически немагнитными являются сидеритовые, гематитовые и другие руды, в которых магнетит или отсутствует, или находится в очень незначительном количестве.

Плотность руд определяется содержанием в них рудных минералов и пористостью. Основные рудные минералы — магнетит, гематит, сидерит, мартит и другие — обладают высокой плотностью (4,51—5,26 г/см³), превышающей в среднем плотность породообразующих минералов более чем в 1,5 раза. Средняя плотность массивных руд изменяется от 3,1 до 4,5 г/см³, в зависимости от содержания в них рудных минералов или железа. Руды осадочных месторождений из-за высокой пористости по плотности практически не отличаются от вмещающих пород. Плотность руд Керченского месторождения, при содержании железа 35—40%, в зависимости от пористости изменяется от 1,6 до 2,45 г/см³.

Несмотря на большое разнообразие генетических типов, по условиям применения геофизических методов железорудные месторождения можно подразделить на две основные группы. К первой группе относятся магматические, контактово-метасоматические, частично гидротермальные и некоторые другие месторождения, руды которых благодаря высокой концентрации магнетита характеризуются высокой намагниченностью, а также обладают высокой плотностью. Вторая группа включает осадочные, частично гидротермальные и другие месторождения, руды

которых по своим физическим свойствам не отличаются от рудовмещающих пород. Месторождения первой группы четко выделяются в геофизических полях и являются весьма благоприятными для их непосредственного обнаружения геофизическими методами. Месторождения же второй группы, как правило, не создают заметных аномалий, и при их поисках геофизические исследования обычно ограничиваются изучением структур, благоприятных для обнаружения оруденения.

Для непосредственных поисков железорудных месторождений, относящихся к первой группе, применяется главным образом магниторазведка, с помощью которой выявляются как магнетитовые, так и марититовые, гематитовые и другие рудные тела, если в последних имеются значительные количества магнетита. Гравиразведка обычно используется для прямых поисков слабомагнитных или глубоко залегающих магнетитовых железных руд, а также при детализации магнитных аномалий: установлении природы аномалий, размеров и формы рудных тел и т. д. Методы электроразведки и сейсморазведки непосредственно для выявления рудных тел не применяются, но они входят в обязательный комплекс при проведении поисковых работ в районах двух- и трехъярусного строения для определения глубин залегания и рельефа поверхности складчатых образований.

Поиски магнетитовых месторождений обычно осуществляются с помощью аэромагнитной съемки. Характерной чертой магнитных аномалий, связанных с магнетитовыми телами, является их значительная интенсивность. Железистые кварциты выражаются в магнитном поле в виде протяженных сравнительно узких и весьма интенсивных аномалий. Например, над джеспилитами КМА, обладающими значительной мощностью при крутом падении пластов, интенсивность аномалий достигает 100 000—150 000 γ. В других районах интенсивность аномалий значительно ниже — десятки тысяч гамм. Вкрапленные титаномагнетитовые месторождения, связанные с интрузивными породами основного состава, характеризуются изометричными, обычно изрезанными, аномалиями интенсивностью в первые тысячи гамм. Сплошные титаномагнетитовые руды фиксируются аномалиями интенсивностью до 5000—10 000 γ. Рудные тела контактово-метасоматических месторождений, имеющие пластообразную, штокообразную или линзообразную форму, создают локальные изометрические или вытянутые аномалии интенсивностью до 10 000 γ при залегании руд вблизи дневной поверхности. Рудные тела железисто-марганцевых месторождений Атасуйского района (Центральный Казахстан), где основными минералами являются гематит, сидерит и магнетит, выделяются в магнитном поле локальными аномалиями интенсивностью не более 1000 γ (В. А. Кличников, В. Р. Этингер, 1965 г.).

При поисках слабомагнитных руд (например, железисто-марганцевые месторождения) или руд, залегающих на значительной глубине, кроме магнитной съемки целесообразно применять также и гравиметровую съемку масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000. Аномалии силы тяжести над рудными телами обычно составляют 0,3—0,5 мгл и лишь над очень крупными месторождениями достигают 1—2 мгл.

Поисковый отряд геологосъемочной партии к моменту производства поисковых работ должен располагать данными аэромагнитных, а в некоторых районах и гравиметровых съемок масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000 с предварительной оценкой перспективности выявленных аномалий. В подготовительный период производится анализ имеющегося материала с целью определения объектов, заслуживающих дальнейшего более детального исследования, и методики проведения работ. В процессе поисковых работ с целью изучения намеченных объектов выполняются детальные наземные магниторазведочные съемки. Сеть наблюдений определяется размерами выявленных аномалий.

Характерной особенностью магнетитовых рудных тел является резкое увеличение напряженности магнитного поля на дневной поверхности по сравнению с полем на высоте (по данным аэромагнитной съемки). На рис. 68 приведены типичные магнитные аномалии над некоторыми неглубоко залегающими магнетитовыми телами месторождений различ-

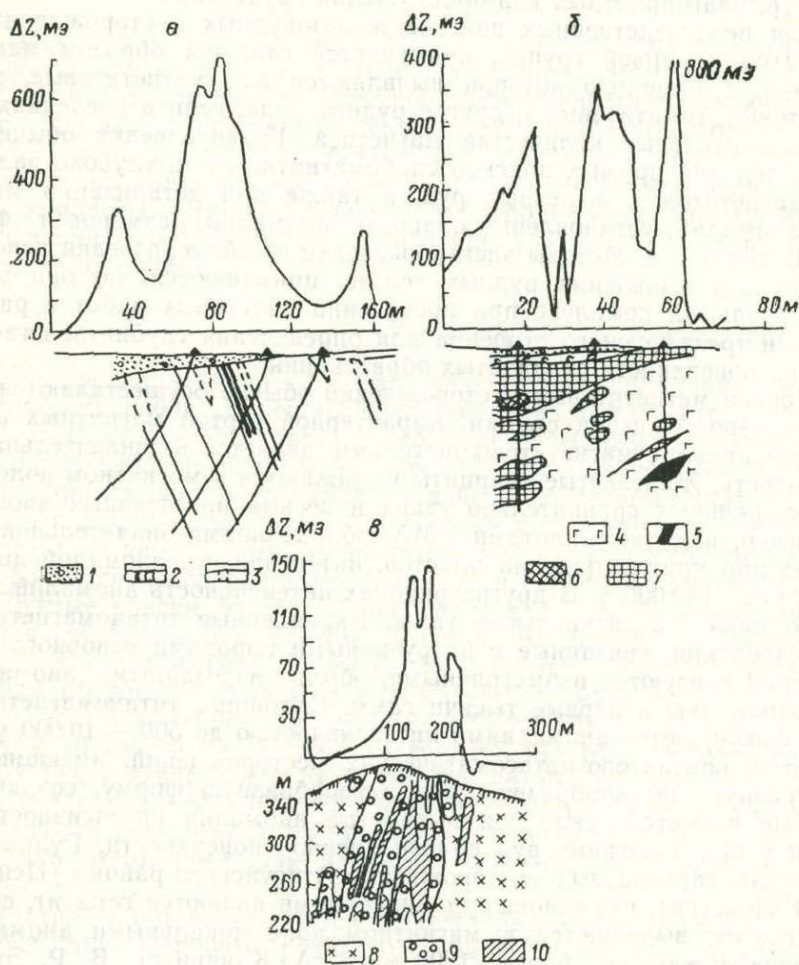


Рис. 68. Типы магнитных аномалий над магнетитовыми рудными телами. а — над пластами железистых кварцитов Костомукшского месторождения осадочно-метаморфогенного типа, Балтийский щит (по И. Я. Цирульниковой, И. М. Кузминой и др.); б — над титаномагнетитовыми рудами месторождения магматического типа Балтийского щита (по И. Я. Цирульниковой, И. М. Кузминой и др.); в — над Луго-Суларинским месторождением (Горная Шория) контактово-метасоматического типа (по Т. Я. Коминской).

1 — четвертичные отложения; 2 — контур тела по данным буровых скважин; 3 — контур тела по геофизическим данным; 4 — габбровые породы; 5—7 — титаномагнетитовая руда: 5 — богатая, 6 — средняя, 7 — бедная; 8 — диориты и диоритовые порфириты; 9 — скарны (Fe — до 24%); 10 — магнетитовые руды (Fe > 24%).

ных генетических типов. Все приведенные аномалии характеризуются максимальными значениями интенсивности в несколько десятков тысяч гамм.

Значительные трудности возникают при выяснении природы магнитных аномалий, которые по форме и интенсивности мало отличаются от аномалий, вызываемых нерудными объектами. Например, рудным телам железисто-марганцевых месторождений Атакуйского района соответствуют овальные аномалии интенсивностью в первые тысячи гамм и менее. Такие же аномалии могут вызываться дайками среднего и основ-

ного состава и другими телами, развитыми в пределах рудного поля. Косвенным указанием на наличие рудного тела, если для этого нет явных геологических данных, является совпадение магнитных и гравитационных аномалий. Например, в районе Тургайского прогиба по этому признаку удалось выявить на глубинах 200—300 м ряд крупных месторождений железа (В. А. Цареградский, В. И. Гольдшмидт и др., 1964 г.).

При детализации магнитных аномалий могут быть использованы гравиметровые или вариометрические (градиентометрические) наблюдения. Вариометрические наблюдения целесообразно проводить при изучении мелких рудных тел, залегающих на небольшой глубине. При изучении крупных залежей используются гравиметровые работы. Однако применение гравиразведки не всегда приводит к однозначному решению задачи из-за малой величины выявляемых аномалий, иногда соизмеримой с уровнем помех.

В настоящее время для выяснения природы магнитных аномалий разрабатываются методы, основанные на определении величины намагниченности тел. К ним относятся методы вариаций магнитного поля и искусственного подмагничивания. Хотя этими методами получены обнадеживающие результаты, они еще не вышли из стадии эксперимента. Сведения о методике производства работ данными методами можно найти в работах Г. Я. Каменской (1966 г.), В. Д. Стадухина и других (1965 г.).

Иногда единственным способом выяснения природы магнитных аномалий является подсечение тел скважинами и проведение скважинной магниторазведки и магнитного каротажа. Остановимся на нескольких примерах, заимствованных нами из опубликованных работ, характеризующих высокую эффективность скважинных исследований [3], (Е. А. Баринов и др., 1965 г.).

На одном из участков (Западная Сибирь) была зафиксирована изометрическая магнитная аномалия с максимальной интенсивностью более 3500 γ . Для установления природы аномалии были пробурены три скважины, которые не вскрыли промышленной руды. Магнитная аномалия была ошибочно объяснена повышенным содержанием магнетита в породах. Лишь после проведения скважинной магниторазведки (измерение вертикальной составляющей поля) было установлено, что рудное тело находится ниже забоя скважины. Последующим бурением оно было вскрыто.

На Урале для установления причин, обусловивших изометрическую магнитную аномалию интенсивностью до 10 000 γ , была пройдена скважина до 160 м, которая не встретила рудного тела. В результате скважинных исследований было установлено магнитное поле интенсивностью до 5000 γ (рис. 69), в то время как пройденные скважиной породы оказались лишь слабомагнитными. Это послужило основанием для предположения о том, что рудное тело располагается параллельно стволу скважины, на глубине 30 м от дневной поверхности. Последующие работы, проведенные с учетом скважинных геофизических исследований, подтвердили наличие рудного тела.

При неглубоком залегании месторождения обычно создают четкие геофизические аномалии, достаточно полно отражающие строение отдельных рудных тел. В этом случае геофизические методы могут быть использованы для выделения и оконтуривания отдельных рудных тел, определения их формы и условий залегания. Для решения этих задач используются данные детальной магнитной и вариометрической съемки. Разрешающая способность вариометрической съемки, как правило, выше, чем магнитной. Поэтому при наличии благоприятных условий для применения вариометрических работ последние являются ведущим методом детального изучения железорудных месторождений. Количество

и длина профилей, по которым выполняются геофизические наблюдения, выбираются исходя из размеров аномалии. Концы профилей должны выходить в область нормального магнитного поля. Методы интерпретации аномалий градиента силы тяжести достаточно известны.

Гравиразведка применяется для выделения отдельных пластов железистых кварцитов. Благоприятными факторами для проведения варио-

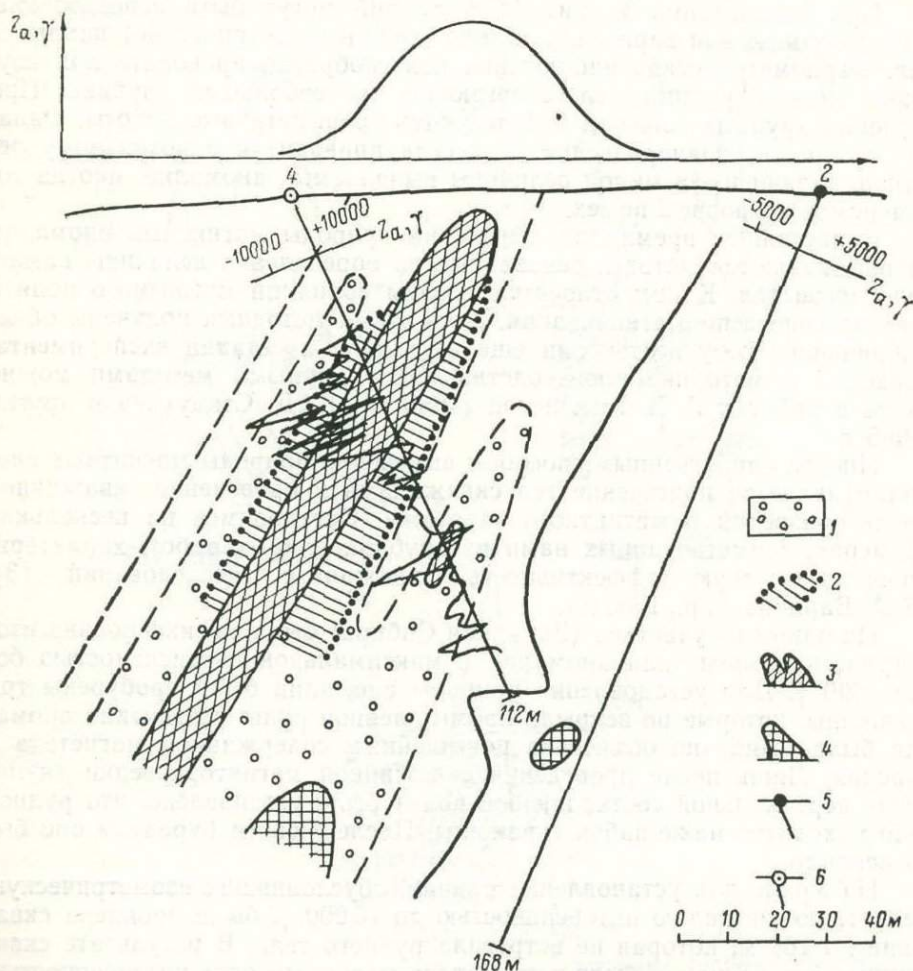


Рис. 69. Кривые магнитного поля Z_a в скважинах, заданных на участке магнитной аномалии, вызванной рудными телами (по А. П. Авдоницу, 1963 г.).

1 — скарны; 2 — скарновые руды; 3 — магнетитовая руда; 4 — предполагаемые рудные тела; 5 — скважина, заданная с целью выяснения природы магнитных аномалий; 6 — скважина, заданная с учетом данных скважинных исследований.

метрических работ являются: крутое падение пластов, значительные вертикальные размеры и выдержанность их по простиранию. Например, вариометрический метод с успехом применяется для выделения и прослеживания отдельных пластов джеспилитов в пределах Украинского кристаллического щита. Значительная мощность рудных пластов позволяет проследить их под мощными покровными образованиями. Профили задаются вкост простирания магнитных аномалий, через интервал 200—500 м. Вариометрические наблюдения проводятся с шагом 20—50 м. Кроме магнитных и вариометрических наблюдений применяется электроразведка, задачей которой является определение глубины залегания докембрийского фундамента, знание которой необходимо для

правильной интерпретации гравиразведочных и магниторазведочных данных. Электроразведывание выполняется по профилям гравитационных наблюдений, по которым проводятся количественные расчеты. Расстояние между пунктами зондирования зависит от глубины залегания докембрийского фундамента, сложности строения рельефа и его поверхности и обычно устанавливается в пределах 200—500 м (З. А. Крутиховская, Г. К. Кужелов, 1960 г.).

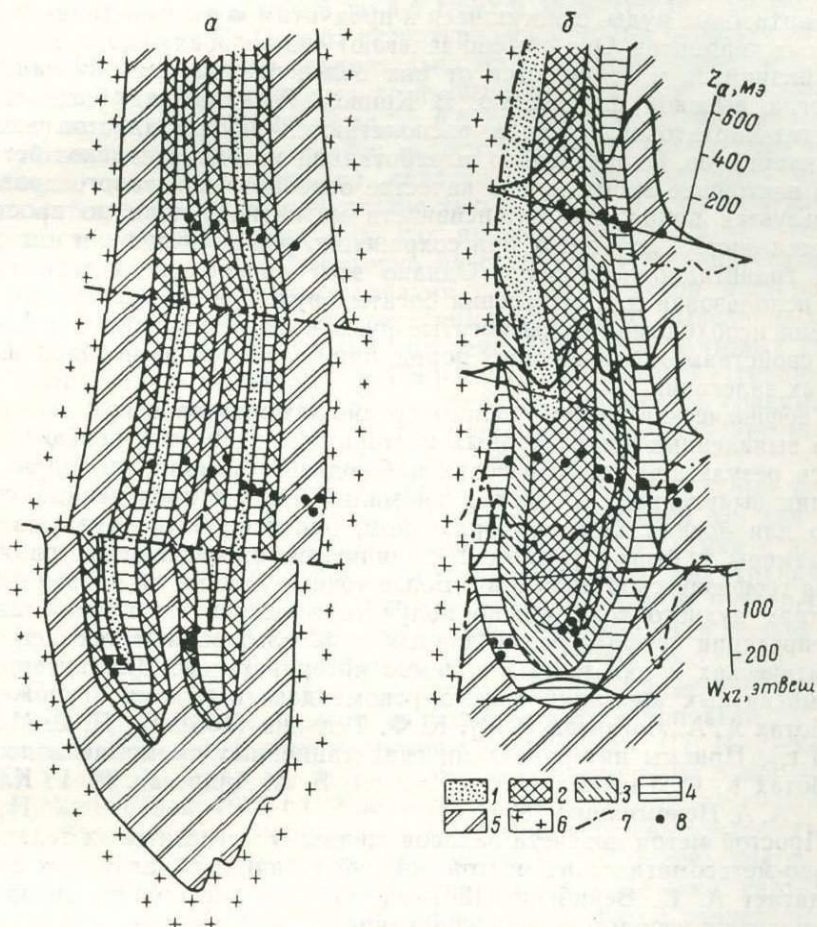


Рис. 70. Карты южной части района Кременчугской магнитной аномалии.

a — геологическая карта, построенная по данным бурения (по С. П. Родионову); 1 — сланцы охристые, глинистые, углистые; 2 — роговообманковые магнетитовые роговики и сланцы; 3 — слабооруденелые роговики и сланцы; 4 — железистые кварциты и роговики; 5 — хлоритовые, актинолитовые и серицитовые сланцы; 6 — граниты; 7 — разрывные нарушения; 8 — скважины.

b — плосовая карта железистых кварцитов, построенная с привлечением геофизических данных (по З. А. Крутиховской); породы с плотностью, г/см³: 1 — 2,6—2,7 (различные сланцы средней свиты); 2 — 3,35—3,4 (железистые роговики с прослоями безрудных роговиков и сланцев); 3 — 2,8—3,05 (слабооруденелые роговики и сланцы); 4 — 3,3—3,6 (железистые роговики и джеспилиты); 5 — 2,5—2,65 (различные сланцы нижней свиты).

Иногда кривые электроразведывания имеют сложный характер и погрешность определения мощности покровных образований может достигать 20% и более, что не всегда достаточно для правильной интерпретации гравиразведочных данных. В этих случаях для получения более точных данных о мощности покровных отложений может быть использована более дорогостоящая сейсморазведка.

На рис. 70 показаны результаты комплексной интерпретации геофизических данных в южной части Кременчугской магнитной аномалии,

вызванной пластами железистых кварцитов (З. А. Крутиховская, Г. К. Кужелов, 1960 г.). Данные вариометрической съемки в сочетании с бурением позволили расчленить толщи железистых кварцитов на отдельные, различающиеся по содержанию железа горизонты. Для сравнения рядом приведена геологическая карта, составленная по буровым данным, без использования геофизических.

Более сложна задача обнаружения богатых железных руд, связанных с железистыми кварцитами. Для КМА характерны остаточные гематит, маритовые руды, относящиеся к продуктам коры выветривания железистых кварцитов. Они обычно залегают «на головах» пластов железистых кварцитов и отличаются от них более низкой намагниченностью и иногда высокой плотностью. В Кривом Роге залежи богатых руд магнетит-маритового состава располагаются внутри пластов железистых кварцитов. Окончательно выработанной методики поисков богатых руд в настоящее время нет. В качестве основного поискового признака используется понижение интенсивности магнитного поля по простиранию железистых кварцитов при сохранении, реже увеличении интенсивности гравитационного поля. Однако этот признак не всегда может быть использован для выделения богатых руд. Для его успешного применения необходимо, чтобы богатые руды четко отличались по физическим свойствам от вмещающих пород, при сравнительно небольшой глубине их залегания.

Геофизические методы целесообразно использовать при оценке запасов выявленных железорудных месторождений. С этой целью используются результаты геофизических наблюдений, выполненных при детализации выявленных магнитных аномалий или же проведенных специально для оценки запасов. Признаком, ориентировочно указывающим на размеры и форму рудных тел, являются интенсивность, размер и форма геофизической аномалии. Более точные данные об указанных параметрах рудного тела можно получить в результате количественной интерпретации геофизических данных с использованием тех или иных аналитических и палеточных приемов интерпретации. Для интерпретации магнитных аномалий можно рекомендовать приемы, изложенные в работах А. А. Логачева [239], К. Ф. Тяпкина (1961 г.), Д. С. Микова (1956 г.). Приемы интерпретации гравитационных аномалий изложены в работах К. Ф. Тяпкина (1961, 1962 г.), Б. А. Андреева, И. Г. Клушина [7], А. А. Непомнящих [305].

Простой метод подсчета запасов железа в магнетитовых телах контакто-метасоматических месторождений по данным магнитных съемок предлагает А. К. Вейнберг (1967 г.). Оценку запасов рекомендуется производить с использованием уравнения

$$P_{\text{Fe}} = 0,1h^2L_{0,5}Z_{\text{max}}(1 + 0,5Z_{\text{max}}),$$

где P_{Fe} — запасы железа, млн. т; $L_{0,5}$ — длина контура изолинии интенсивностью $0,5 Z_{\text{max}}$, сотни метров; h — глубина залегания тела, сотни метров; Z_{max} — максимальная интенсивность аномалии, тысячи гамм.

Как видно из приведенного уравнения, точность оценки запасов главным образом зависит от точности определения глубины h и, как отмечает автор, не будет превышать 50%.

Хромиты

Все крупные месторождения хромитов генетически и пространственно связаны с интрузиями гипербазитов. Месторождения хромитов обычно залегают в серпентинизированных дунитах, значительно реже в перidotитах и гарцбургитах. Для некоторых месторождений характерна приуроченность к приконтактовым частям гипербазитовых массивов.

Форма хромитовых тел различная: линзообразная, жильная, штокообразная, неправильная. Контакты с вмещающими породами резкие. Протяженность рудных тел достигает нескольких сотен метров, мощность колеблется от единиц до нескольких десятков метров. Глубина залегания руд изменяется от единиц до сотен метров.

Основным геофизическим методом поисков хромитов является гравиразведка, в основе использования которой лежит резкое отличие хромитовых руд от рудовмещающих пород по плотности. Плотность хромитов изменяется от 3,5 до 4,4 г/см³ и зависит главным образом от содержания в них Cr₂O₃ и от структурно-текстурных особенностей руды. Исключением являются сравнительно мало распространенные порошковые руды, плотность которых не превышает 2—3 г/см³. Плотность ультраосновных пород изменяется от 2,6 до 3,2 г/см³ и зависит от их вещественного состава и степени серпентинизации. Таким образом, хромитовые тела обладают по сравнению с вмещающими породами положительной избыточной плотностью от 0,3 до 1,8 г/см³. Избыточная плотность промышленных руд, как правило, равна 1,2—1,5 г/см³, что вполне достаточно для выявления их с помощью гравиразведки.

Гравиразведочные исследования с целью поисков месторождений хромитов проводятся на перспективных площадях, выделяемых в процессе изучения гипербазитовой интрузии. Поиски хромитовых тел можно осуществлять гравиметровой или вариометрической (градиентометрической) съемками. Но целесообразнее применять гравиметровую съемку, так как она значительно экономичнее и обладает несколько большей глубиной (первые сотни метров).

Над хромитовыми телами обычно наблюдаются слабые по интенсивности (около 0,5—1 мгл) положительные аномалии Δg , для выявления которых следует проводить гравиметрическую съемку с погрешностью не более 0,1—0,15 мгл. Методика высокоточных гравиметрических съемок достаточно подробно описана в работах В. А. Цареградского (1964, 1965 г.). Масштаб съемки может изменяться в зависимости от размеров искоемых хромитовых тел от 1:25 000 до 1:5000.

При проведении гравиметровых съемок в пересеченной местности в аномалии Буге обязательно должны вводиться поправки за рельеф. Способы вычисления этих поправок общеизвестны (П. И. Лукавченко, 1951 г.; Б. А. Андреев, 1954 г.; В. И. Гольдшмидт, 1965, 1966 гг.; Н. И. Кушербаев, 1965 г.). Кроме поправок за рельеф местности в аномалии Буге вводятся поправки за изменение мощности рыхлых отложений, если мощность последних превышает 5 м. Для введения последней поправки необходимо располагать крупномасштабными картами изомощностей рыхлых образований. Аномальный эффект рыхлых образований определяется с помощью палеток Г. А. Гамбурцева (1930 г.), О. А. Шванка [466], К. Н. Анисимова (1956 г.), А. Я. Яроша [478], К. Ф. Тяпкина (1961 г.). Выбор тех или иных палеток зависит от формы погребенного рельефа. Казахским филиалом ВИРГ предложен способ определения суммарного гравитационного эффекта, вызываемого рельефом дневной поверхности и погребенной поверхности коренных пород (И. М. Бисенгалиев, 1966 г.).

Мощность рыхлых отложений, знание которой необходимо для вычисления поправки, определяется с помощью ВЭЗ. Для достижения необходимой точности последние выполняются по достаточно густой сети наблюдений. Значительную помощь при определении мощности рыхлых отложений, по всей вероятности, окажут микросейсмические исследования с использованием малоканальной портативной аппаратуры.

Для выделения локальных аномалий, вызванных хромитовыми телами, на фоне региональных аномалий многие исследователи предлагают использовать различные трансформации наблюдаемого поля, позволяющие ослабить влияние региональных аномалий и более рельефно

подчеркнуть интересующие нас локальные аномалии. Б. А. Андреевым и И. Г. Клушиным показано, что геологические результаты локализации аномалий практически не зависят от вида преобразования, но зато в значительной степени определяются его параметрами. В связи с этим для локализации аномалий целесообразно принять наиболее простые и в то же время достаточно помехоустойчивые способы, например метод вариаций Б. А. Андреева и метод Саксова — Нигарда. Для выделения локальных аномалий целесообразно применять также простое графическое разделение поля по наблюдаемым кривым Δg . Особенно хорошие результаты этот метод дает, если графики Δg построить по профилям, расположенным вдоль простирания изолиний регионального поля.

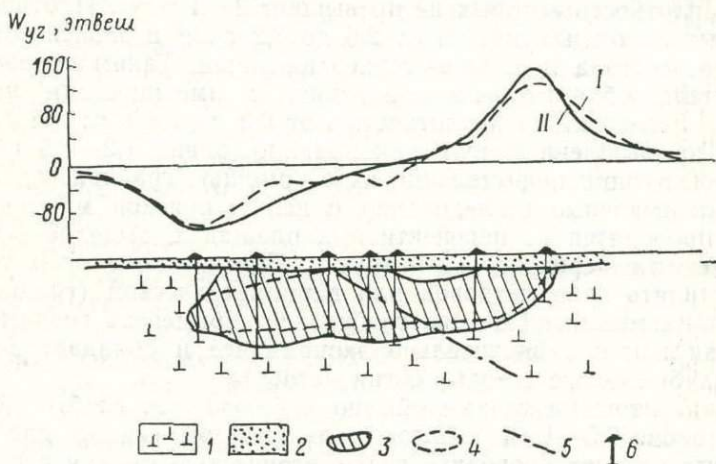


Рис. 71. Определение формы рудного тела по данным вариометрической съемки (по В. В. Савельеву).

I — наблюдаемая кривая W_{yz} ; *II* — кривая W_{yz} , найденная подбором ($\Delta\sigma = 1,2 \text{ г/см}^3$); 1 — дунитовые серпентиниты; 2 — рыхлые отложения; 3 — рудное тело по геологическим данным; 4 — рудное тело по данным вариометрической съемки; 5 — сброс; 6 — скважины.

Локальные положительные аномалии Δg могут быть обусловлены как месторождениями хромитов, так и плотностной неоднородностью вмещающих пород. Одним из признаков рудных аномалий является их корреляция на протяжении сотен метров. Именно по этому признаку удалось выделить рудные аномалии, связанные с крупными хромитовыми телами. Однако нерудные аномалии часто соизмеримы с рудными, поэтому возникает необходимость в выяснении природы всех локальных аномалий. С этой целью при хорошей обнаженности на аномальных участках проводится геологическое и геохимическое обследование и изучение плотности горных пород. В ряде случаев некоторую помощь может оказать магниторазведка. Над рудными объектами, как правило, наблюдается заметное изменение интенсивности магнитного поля, которое в совокупности с локальными гравитационными аномалиями иногда может свидетельствовать о рудной природе последних (Б. А. Андреев, 1937, 1962 гг.). Для этой же цели можно рекомендовать вычисление по аномалиям избыточной плотности и намагниченности [305]. Природа наиболее перспективных аномалий уточняется горно-буровыми работами.

После того как окончательно установлена связь гравитационных аномалий с хромитовыми телами, проводятся детализационные геофизические работы, в результате которых удастся оконтурить рудные тела и ориентировочно оценить запасы руд. При детализационных работах применяется вариометрическая съемка, которая по сравнению с гравиметровой съемкой позволяет более точно решить поставленные задачи.

Специальные расчеты, выполненные Б. А. Андреевым (1937 г.), показали, что для оконтуривания рудных тел, имеющих мощность от 2 до 5 м и залегающих на глубине до 15 м, необходимо использовать сеть наблюдений 20×20 или 25×25 м², с последующим сгущением шага наблюдений. С увеличением мощности рудных тел возрастает и глубинность метода. Однако рудные тела, залегающие глубже 100 м, вариометрической съемкой не выделяются.

Для определения формы и размеров рудных тел используются различные методы количественной интерпретации гравитационных аномалий (Б. А. Андреев, 1962 г.; К. Ф. Тяпкин, 1961 г.; Д. С. Миков, 1956 г.; А. А. Непомнящих [305]). Пример количественной интерпретации представлен на рис. 71. Форма сечения рудного тела, как это видно на рисунке, определенная по кривой W_{yz} с использованием палеток Д. С. Микова, достаточно точно совпала с его фактическими границами.

При детальном изучении рудных тел могут быть использованы и данные гравиметровой съемки. Но для этого необходимо иметь хорошо выраженные интенсивные локальные аномалии. Для интерпретации таких аномалий можно применить формулу Г. А. Гамбурцева, позволяющую определить площадь поперечного сечения рудного тела на уровне утроенной горизонтальной мощности (Б. А. Андреев, 1962 г.), а также методы вычисления глубины залегания центра тяжести возмущающего объекта (К. Ф. Тяпкин, 1961 г.; Ю. А. Зорин, 1965 г.). Для оценки вертикальных размеров, угла наклона и избыточной плотности выходящих на поверхность пластообразных тел можно рекомендовать методы, предложенные В. И. Гольдшмидтом [113], О. Д. Ивановым и В. А. Бородиным (1966 г.).

Бокситы

Известные в СССР месторождения бокситов представлены двумя типами: платформенными и геосинклинальными [116]. Платформенные месторождения связаны с краевыми частями крупных платформенных синеклиз и с поднятием платформенного фундамента и их склонами. Внутри этих площадей залежи бокситов обычно приурочены к мелким впадинам карстово-эрозионного происхождения. Вмещающими бокситорудные тела породами являются континентальные пестроцветные песчано-глинистые отложения и карстовые образования в известняках. Рудные тела обычно залегают вблизи контактов алюмосиликатных пород и закарстованных известняков. Форма рудных тел пластообразная, линзообразная или гнездообразная. Размеры около $500 \div 700 \times 100 \div 150$ м при мощности 5—20 м. В карстовых впадинах вертикальная мощность рудных тел часто значительно больше.

Бокситы платформенного типа обладают различной намагниченностью, связанной с присутствием в них магнетита или маггемита. Наиболее магнитны [153] каменные бокситы мезозойского возраста [$\chi = (800 \div 16\,000) \cdot 10^{-6}$ СГС]. Рыхлые и особенно глинистые бокситы обладают значительно меньшей магнитной восприимчивостью [$\chi = (100 \div 1000) \cdot 10^{-6}$ СГС]. Разновидности бокситов палеозойского возраста практически немагнитны.

Поиски месторождений платформенного типа подразделяются на три этапа: выявление перспективных площадей, установление в их пределах благоприятных структур и, наконец, выявление рудных тел (С. П. Бабаянц, Г. Н. Заварзин, 1962 г.; В. А. Бугайло, 1964 г.; Г. Р. Кирпаль, 1964 г.; А. Ф. Игошин, Н. Н. Кленчин, А. М. Ничипуренко, 1965 г.). Перспективные площади выделяются на основании геологических данных и материалов геофизических съемок, проводимых до геологосъемочных работ (гравиметровые и аэромагнитные съемки, сейсморазведочные и электроразведочные работы).

По данным гравиразведки изучаются структуры фундамента, в частности выявляются его платообразные поднятия и синеклизы. По данным аэромагнитной съемки определяются площади развития алюмосиликатных пород и осадочных образований. Алюмосиликатные породы обычно создают повышенные магнитные поля до сотен гамм, в то время как осадочным образованиям соответствуют спокойные магнитные поля с относительно более низкой интенсивностью. Структуры, благоприятные для нахождения бокситов, выделяются по картам изоглубин масштаба 1 : 200 000, построенным по данным сейсморазведки и электроразведки с использованием бурения. При интерпретации сейсморазведочных и электроразведочных материалов выделяются также и области распространения карбонатных пород, и контакты последних с алюмосиликатными породами.

В процессе геологосъемочных работ поисковые геофизические исследования проводятся уже на перспективных площадях. Задачи, в решении которых используются геофизические методы, следующие: а) детальное изучение рельефа палеозойского фундамента с целью обнаружения депрессий; б) уточнение контакта алюмосиликатных и карбонатных пород; в) непосредственное выявление рудных тел. Комплекс геофизических исследований состоит из электроразведочных (реже сейсморазведочных) и магниторазведочных съемок. Первые проводятся, как правило, в масштабе 1 : 50 000, вторые — 1 : 25 000. Благодаря четкому различию в сопротивлениях пород фундамента и перекрывающих его рыхлых отложений задача изучения рельефа фундамента и выделения в нем мелких впадин решается довольно уверенно с помощью ВЭЗ. При достаточной дифференциации пород фундамента по удельному электрическому сопротивлению удастся выделить также отдельные литологические горизонты или комплексы пород. Если среди мезозойско-кайнозойских образований нет высокоомных экранирующих горизонтов, то частично вместо ВЭЗ можно проводить съемку методом симметричного профилирования на двух разносах питающих электродов.

По данным магнитной съемки уточняются контакты алюмосиликатных пород с карбонатными образованиями. Геофизические работы масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000 сопровождаются проверочным поисково-картировочным бурением для изучения природы выявленных геофизических полей.

Детальные поисковые работы ведутся на участках, на которых бурением выявлены бокситовые тела или вскрыты бокситоносные толщи. На этой стадии ведущим поисковым методом является высокоточная магнитная съемка в масштабе 1 : 10 000. С ее помощью выделяются и оконтуриваются каменистые разности бокситов. После проведения проверочного бурения и дополнительного анализа геофизических данных производится геологическая оценка выявленных месторождений.

Бокситовые тела различной намагниченности могут залегать на немагнитных или магнитных разностях пород фундамента. Задачи поисков каменистых бокситов решается наиболее просто, если они залегают на немагнитном фундаменте. В этом случае в пределах нормального магнитного поля бокситовые залежи четко фиксируются локальными аномалиями (рис. 72). В эндоконтакте порфиритов с осадочной толщей бокситам обычно соответствуют аномалии второго порядка.

Бокситовые тела, имеющие пластовую форму, уверенно фиксируются лишь в том случае, если они залегают на глубине, не превышающей их мощность более чем в 3—5 раз. Для рудных тел, имеющих гнездовую форму, это соотношение снижается до 2. Когда бокситовые тела представлены только глинистыми и рыхлыми разновидностями, они магниторазведкой, как правило, не выявляются и основным поисковым методом является бурение. Поиски магнитных разностей бокситов, залегающих на магнитном основании, в общем случае затруднительны.

Лишь иногда магнитные аномалии, вызываемые бокситовыми телами, имеют более сложную конфигурацию, и по этому признаку удается их выделить на фоне местного повышения магнитного поля, вызванного фундаментом. При поисках немагнитных разностей бокситов, залегающих на магнитном или немагнитном основании, геофизические методы используются лишь для выявления перспективных площадей.

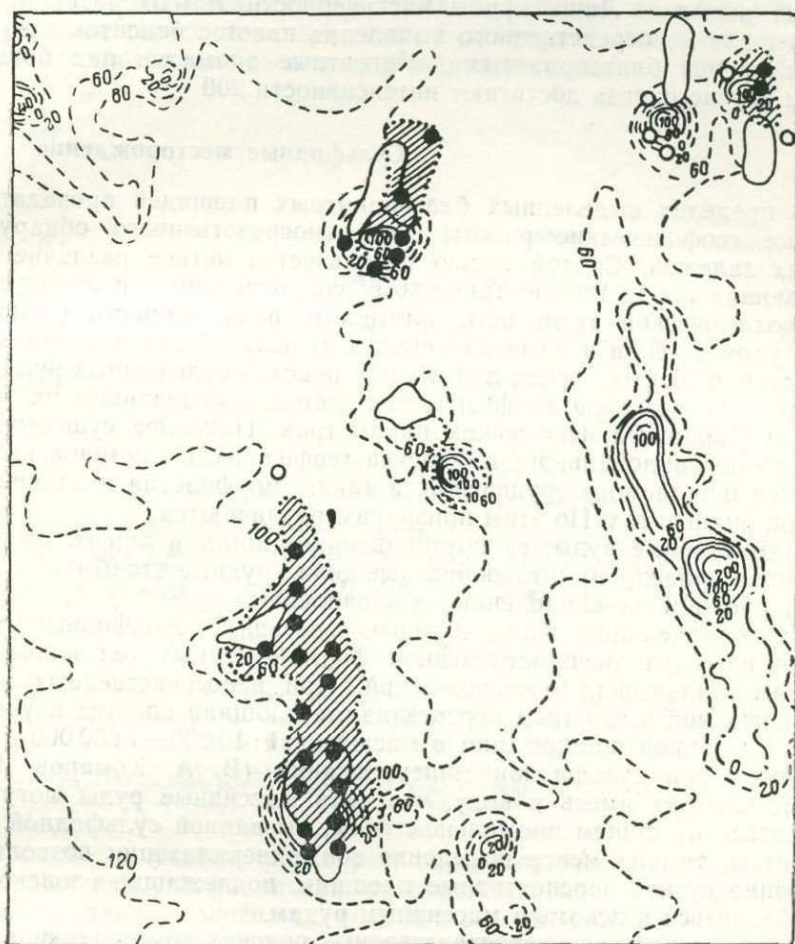


Рис. 72. Аномалии магнитного поля Z_a (γ) над каменными разностями бокситов, Казахстан (по Н. Н. Кленчину).

1 — каменные бокситы; 2—3 — скважины (2 — встретившие, 3 — не встретившие руду).

Месторождения бокситов геосинклинального типа приурочены к краевым зонам геосинклиналей. Рудные тела имеют пластовую форму, протягиваясь по простиранию до нескольких километров при мощности от 3 до 10 м. На стадии выделения перспективных площадей геофизические методы обычно используются для решения общих структурно-геологических вопросов. Бокситы геосинклинальных месторождений обладают сравнительно низкой магнитной восприимчивостью, обусловленной редкой вкрапленностью магнетита. Несколько повышенной намагниченностью обладают лишь красные и бурые разновидности [$\chi = (10 \div 700) \cdot 10^{-6}$ СГС]. Остальные бокситы (пестроцветные, черные, серые

и др.) характеризуются еще более низкой намагниченностью [$\chi = (0 \div \div 60) \cdot 10^{-6}$ СГС]. Вследствие низкой намагниченности руд непосредственное их выявление с помощью магниторазведки не всегда удается даже в тех случаях, когда рудовмещающие породы практически немагнитны.

Результаты работ на ряде месторождений свидетельствуют, что при небольшой мощности покровных образований с помощью магниторазведки удается проследить пласты слабомагнитных бокситов от известных их выходов. Лишь при намагниченности $200 \cdot 10^{-6}$ СГС и более условия для непосредственного выявления пластов бокситов могут оказаться вполне благоприятными. Магнитные аномалии над бокситами в этом случае иногда достигают интенсивности 200 γ .

Сульфидные месторождения

В пределах выделенных благоприятных площадей проводятся детальные геофизические работы для непосредственного обнаружения рудных залежей. С этой целью используется четкое различие руд и вмещающих пород по электрическому сопротивлению, поляризуемости, электрохимической активности, плотности, реже скорости распространения упругих волн и намагниченности. В целях более однозначной интерпретации геофизических данных при поисках сульфидных руд обычно применяется комплекс геофизических методов, основанных на использовании различных физических параметров. Наиболее существенными при выборе рационального комплекса геофизических методов являются характер ожидаемого оруденения, а также морфология и элементы залегания рудных тел. По этим признакам различаются:

1) массивные руды: а) крутопадающие жилы и линзы; б) пологопадающие залежи; в) штокообразные тела (рудные столбы);

2) прожилково-вкрапленные и вкрапленные руды.

Крутопадающие жилы и линзы массивных сульфидных руд являются наиболее распространенной формой рудных тел колчеданных и полиметаллических месторождений. При непосредственных поисках месторождений этого типа перспективные площади следует изучать методом вызванной поляризации в масштабе 1 : 10 000—1 : 50 000 с целью выявления зон сульфидной минерализации (В. А. Комаров, 1964 г. и др.). Следует иметь в виду, что хотя массивные руды могут и не выделяться на общем аномальном фоне, вызванной сульфидной вкрапленностью, тем не менее выделение зон минерализации позволяет существенно сузить перспективные площади, подлежащие опоскованию, и приблизиться к искомым массивным рудам.

Ведущая роль при непосредственных поисках крутопадающих сульфидных жил и линз принадлежит электроразведке методами сопротивлений и в первую очередь методам комбинированного или дипольного электропрофилеирования [384], (А. С. Семенов и др., 1962 г.), а также электромагнитным (индуктивным) методам: незаземленной петли, дипольного индуктивного профилирования, бесконечно длинного кабеля. Перечисленные методы позволяют определить ориентировочные размеры рудного тела, угол его падения и величину электропроводности. Последнее особенно важно для оценки характера оруденения.

При поисках сульфидных месторождений широко используется также метод естественного электрического поля, основанный на изучении электрохимических процессов, происходящих в окисляющемся сульфидном теле (А. С. Семенов, 1955 г.). Над сульфидными рудами в большинстве случаев наблюдаются достаточно выдержанные во времени локальные отрицательные аномалии естественного электрического поля интенсивностью от нескольких десятков до первых сотен милливольт.

Рассмотренные выше электроразведочные методы при поисках сульфидных руд обладают глубиной 10—100 м, в редких особо благо-

приятных геоэлектрических условиях — несколько выше. Разработан и прошел широкое производственное опробование новый электроразведочный метод, основанный на изучении эффекта становления электромагнитного поля, — метод переходных процессов, который по предварительным данным увеличивает глубинность поисков крупных электропроводящих тел до 200 м (Ф. М. Каменецкий и др., 1962 г.). Используя временные характеристики спада переходных процессов, удается классифицировать выявленные аномалии по величине электропроводности и с большей однозначностью, чем в других методах электроразведки, установить их связь с электропроводящими рудными телами (рис. 73).

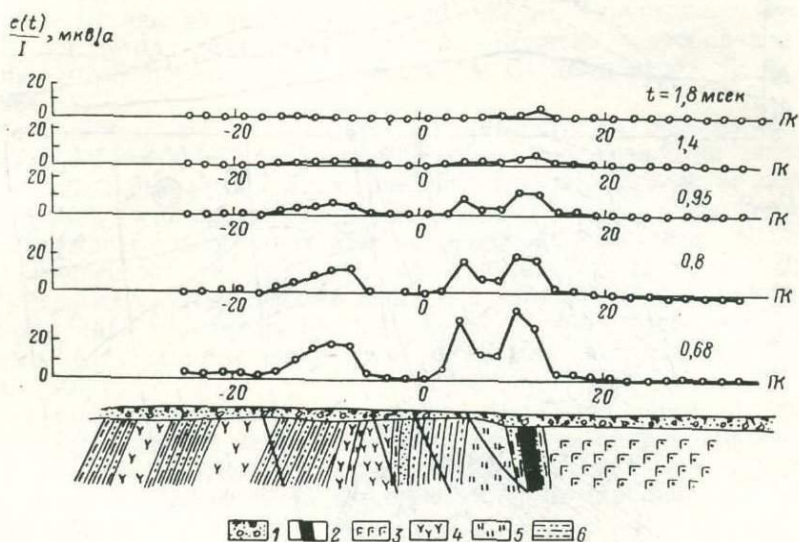


Рис. 73. Аномалии метода переходных процессов над сплошными сульфидными рудами и графитизированными сланцами, Карелия (по А. Б. Великину и Ю. И. Булгакову).

1 — морена; 2 — сплошная пирит-пирротиновая руда; 3 — кварцевый порфиرويد; 4 — метагаббро-диабазы; 5 — ультраосновные породы; 6 — графит-серцит-кварцевые и графитистые сланцы.

Наличие на участке работ различных пиритизированных, графитизированных или углефицированных пород, способных вызвать электрические аномалии, аналогичные тем, которые наблюдаются над рудными телами, значительно затрудняет установление природы выявленных аномалий.

В настоящее время появление быстродействующих горизонтальных гравитационных градиентометров и создание высокоточных гравиметров привело к интенсивному внедрению в комплекс геофизических методов поисков сульфидных руд вариометрических и гравиметровых съемок. Крутопадающие рудные тела выделяются локальными положительными гравитационными аномалиями интенсивностью от первых десятых долей миллигала до 2—3 мгл [478].

На рис. 74 приведены геологический и геоплотностной разрезы через слепое рудное тело одного из среднеуральских медноколчеданных месторождений и результаты гравиметровых наблюдений над ним. Рудное тело, имеющее плотность 4,50 г/см³, окружено ореолом измененных пород со средней плотностью 3,20 и 2,82 г/см³. Суммарный аномальный эффект от рудного тела и зоны околорудных измененных пород равен 0,6 мгл.

Глубинность гравиметровой съемки при поисках колчеданных месторождений Урала оценивается А. Я. Ярошем и А. Б. Поляковым в 3—

6 горизонтальных мощностей рудных тел (при погрешности съемки $\pm 0,1$ мгл), причем глубинность поисков увеличивается с ростом размеров рудных тел. Мелкие и средние рудные тела фиксируются на глубинах от нескольких десятков метров до 100 м, т. е. на тех же глубинах, что и электроразведкой. Крупные рудные тела могут быть открыты на глубинах в несколько сотен метров.

В ряде случаев полиметаллические руды содержат в своем составе магнитные минералы — магнетит или пирротин, и тогда одним из ведущих поисковых методов становится магниторазведка. Примеры успеш-

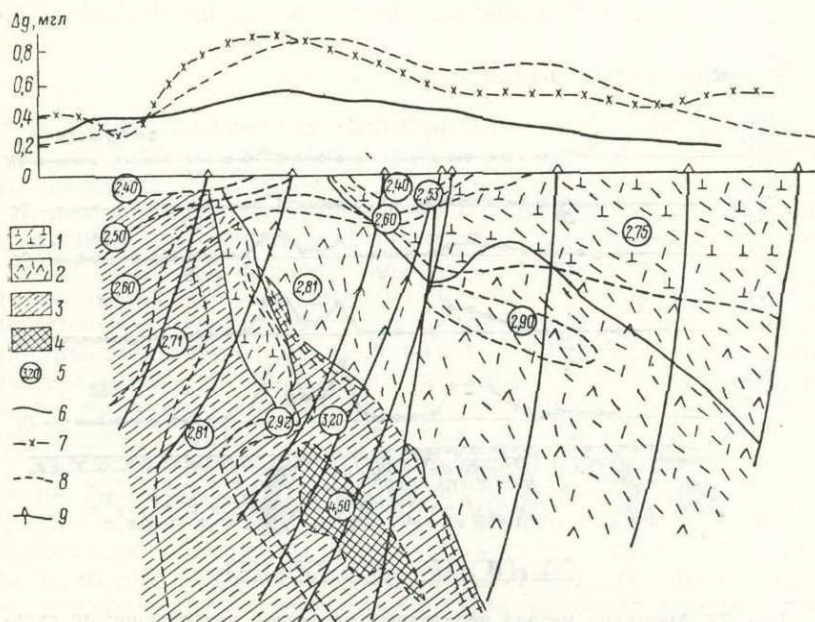


Рис. 74. Результаты гравиметровой съемки над одним из среднеуральских медноколчеданных месторождений (по Н. С. Шмелеву).

1 — альбитофиры и их туфы; 2 — порфиры и их туфы; 3 — кварцево-хлорито-серцитовые породы; 4 — массивный колчедан; 5 — зоны распространения пород одинаковой плотности и значение плотности (цифры в кружках), г/см³; 6—8 — графики: 6 — вычисленный Δg от рудного тела; 7 — измеренный Δg со снятым региональным фоном; 8 — вычисленный суммарный Δg от рудного тела с учетом всех плотностных границ раздела; 9 — скважины.

ного применения магнитных съемок при поисках и разведке полиметаллических руд известны по работам в Красноярском крае (Е. Б. Фейгин, 1967 г.), в Азербайджане (Б. Э. Хесин, С. А. Мурадханов, 1967 г.) и в некоторых других районах.

Приведенное выше перечисление показывает, что существует значительное число геофизических методов поисков сульфидных месторождений, однако ни один из них не может самостоятельно решить задачу поисков руд. Более удовлетворительные результаты можно получить при использовании комплекса геофизических методов. Рациональный комплекс, как уже отмечалось выше, зависит от многих факторов и может рассматриваться только для конкретного района. Однако для выделенных нами основных типов месторождений может быть намечен в общих чертах типичный рациональный комплекс геофизических методов.

При поисках массивных жил и линз с крутыми углами падения ведущим геофизическим методом является электроразведка методами комбинированного электропрофилирования, естественного электрического поля или одного из индуктивных методов. Площадную съемку перспективного участка следует проводить одним из этих методов. При изу-

чении отдельных аномалий и аномальных зон целесообразно применение других электроразведочных методов, а также гравиметровой съемки или градиентометрии. В некоторых случаях на особо перспективных участках со сложным геоэлектрическим разрезом допускается проведение площадных поисковых работ с использованием двух методов: гравиметровой съемки и одного из методов электроразведки.

Пологопадающие залежи типичны для колчеданных месторождений Южного Урала и ряда других районов. Они обычно имеют значительные размеры в плане и большую мощность и перекрыты в ряде случаев высокоомными породами типа мраморизованных известняков и спилитов. Наиболее рациональными геофизическими методами поисков рудных тел этого типа месторождений являются гравиразведка и индуктивные методы электроразведки: дипольное индуктивное профилирование и метод незаземленной петли. Успешно опробован в этих условиях метод переходных процессов (А. С. Демидовцев, В. А. Сидоров, 1964 г.).

Штокообразные рудные тела (или рудные столбы) образуются обычно в пересечении двух рудоконтролирующих разломов. Они часто имеют незначительные размеры в плане, но распространяются на большую глубину. Во многих случаях оруденение, концентрируясь в рудном столбе, продолжается по разломам, и тогда для поисков таких руд может быть применен тот же комплекс геофизических методов, что и при поисках обычных крутопадающих жил. Для поисков рудных столбов следует применять гравиметровую съемку по густой квадратной сети на заведомо перспективных участках и метод естественного электрического поля.

При поисках вкрапленных и прожилково-вкрапленных сульфидных руд ведущим методом является метод вызванной поляризации в комплексе с металлометрической съемкой. Однако следует иметь в виду, что в ряде случаев при развитии вкрапленности по карбонатным породам аномалии ВП могут отсутствовать.

Задача поисков сульфидных месторождений осложняется в районах, перекрытых чехлом рыхлых осадочных отложений в несколько десятков (до 80—100) метров. В этих районах особо существенным является максимально полное использование комплекса геофизических методов для изучения рудоконтролирующих элементов. На первой стадии поисковых работ следует выполнять съемку методом ВП с увеличенными разносами питающих электродов для прослеживания зон сульфидной минерализации (А. С. Семенов, 1966 г.). Дальнейшие поисковые работы сосредоточиваются в пределах выявленных аномальных зон. На этой стадии в комплекс поисковых методов включается гравиметровая съемка (М. Н. Столпнер, 1962 г.), причем в закрытых районах к точности съемки и, в частности, к учету рельефа коренных пород предъявляются более высокие требования. На этой же стадии используются метод комбинированного электропрофилирования и индуктивные методы с увеличенными разносами питающих электродов или передающей и приемной рамок. При детализации выявленных аномалий следует применять ВЭЗ с разносами по простиранию пород, а также гравитационную градиентометрию.

Глубинность поисков на закрытых площадях может быть увеличена за счет устройства питающих заземлений электроразведочных установок в картировочных скважинах, которые необходимо использовать также для измерения в них естественного электрического поля и вызванной поляризации.

Наиболее сложной проблемой применения геофизических методов является методика поисков слепых сульфидных рудных тел на глубинах более 50—100 м. Поиски глубокозалегающих слепых рудных тел в настоящее время представляются нам как комплекс мероприятий техни-

ческого плана на различных этапах изучения рудных районов, в который входят следующие.

1. Полное использование комплексных геофизических съемок для геологического изучения района, построения крупномасштабных прогнозных и металлогенических карт и выделения по геологическим, геофизическим и геохимическим данным узко локализованных перспективных участков.

2. Выполнение на этих участках детальных поисковых работ, включающих, в частности, такие глубинные геофизические методы, как высокоточная гравиметровая съемка, метод переходных процессов, ВЭЗ — ВП.

3. Бурение редкой сети поисковых скважин и проведение в них широкого комплекса методов скважинной геофизики, в первую очередь метода скважинного радиоволнового просвечивания, метода заряда, а также скважинных вариантов АФИ, ВП, ПС.

Ведущими методами изучения околоскважинных пространств являются метод заряда, включающий различные модификации метода электрической корреляции, и метод скважинного радиоволнового просвечивания. Метод заряда используется для оконтуривания «заряженного» тела и поисков новых рудных тел, электрически с ним не связанных. Метод заряда на поисковом этапе целесообразно применять и в том случае, когда рудный объект не вскрыт горно-буровыми работами: изучение электрического поля точечного источника может облегчить выявление расположенного вблизи источника рудного тела (П. Ф. Родионов, 1950 г.).

Метод радиоволнового просвечивания используется для поисков зон высокой проводимости в межскважинном пространстве, определения оруденения, уточнения геологического разреза (Петровский, 1964 г.; В. Ф. Фриш, 1964 г.). Дальность радиоволнового просвечивания зависит от электропроводности среды и применяемой частоты электромагнитного поля. На относительно низких частотах (0,125—0,250 МГц) при сопротивлении вмещающих пород 1000 ом·м дальность радиоволнового просвечивания достигает 300—400 м (П. Ф. Родионов, И. И. Кононенко, 1965 г.). Это позволяет разредить сеть буровых скважин на поисковом и разведочном этапах работ.

При поисках вкрапленного оруденения целесообразно применение скважинного варианта метода вызванной поляризации.

Объемы горно-буровых работ, необходимых для установления природы аномалий, зависят от формы и размеров последних, глубины и предполагаемых элементов залегания возмущающих объектов. При малой мощности рыхлых покровных отложений (от 2—3 до 10 м) и выходе аномального объекта на поверхность коренных пород для установления природы геофизической аномалии и обычно сопровождающего ее металлотрического ореола проводятся шурфовые и канавные работы. При более глубинных аномалиях целесообразно бурение поисковых скважин. Если аномалии предположительно связаны с пологопадающими линзами, рудными столбами или вкрапленными рудами, то для их вскрытия задаются вертикальные скважины. Количество скважин и их расположение зависят от формы и размеров аномальной зоны. Первая скважина обычно задается в эпицентре аномалии, остальные — в крайних частях центрального профиля, расположенного вкrest простираения аномальной зоны. В зависимости от результатов бурения задаются дополнительные скважины по серии параллельных профилей.

При поисках крутопадающих сульфидных жил или линз по геологическим и геофизическим данным определяется направление и угол падения вмещающих толщ и аномального объекта. Для установления природы аномалии бурятся две-три наклонные скважины, рассчитанные таким образом, чтобы пересечь возмущающий объект под углом,

близким к прямому. В особо сложных случаях, когда по имеющимся данным невозможно даже ориентировочно определить направление падения изучаемого объекта, а по геологическим данным на участке можно ожидать секущие рудные тела, в пределах аномальной зоны рекомендуется бурение двух перекрещивающихся скважин на профиле, перпендикулярном к оси аномалии.

Во всех картировочно-поисковых скважинах, заданных с целью изучения геофизических аномалий, вне зависимости от встречи оруденения проводится комплекс скважинной геофизики (радиопросвечивание, МЭК, скважинные варианты ВП, ПС, АФИ), по всему разрезу скважины через 0,5—1 м отбираются спектральные пробы, а также образцы горных пород для изучения их физических свойств. Кроме методов скважинной геофизики в скважинах проводится комплекс каротажных исследований, включающих как минимум методы каротажа сопротивлений (КС), скользящих контактов (МСК), гамма-каротаж (ГК), инклинометрию.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

В настоящее время в практику поисковых работ более или менее широко внедрены три разновидности литохимических методов (геохимические поиски с опробованием русловых осадков, покровных рыхлых образований, коренных горных пород), гидрохимический и биогеохимический методы. Успешно, но в ограниченных масштабах применяется атмосферический метод.

Возможность и целесообразность применения того или иного геохимического метода определяются прежде всего наличием на изучаемой площади и доступностью соответствующего объекта опробования. Например, в хорошо обнаженных районах геохимическому опробованию подвергаются преимущественно коренные породы; в районах с широким развитием элювиально-делювиальных образований последние являются главным объектом геохимического опробования; на площадях, где коренные породы перекрыты аллювиальными, флювиогляциальными, золовыми отложениями мощностью до 10—20 м, наиболее обычным объектом опробования могут быть растения в районах с расчлененным рельефом и обилем открытых водотоков и источников; существенная часть отбираемых геохимических проб может быть представлена пробами природных вод.

Поскольку практически в пределах любого изучаемого геологосъемочной партией района (один или несколько листов карты масштаба 1:50 000 или 1:25 000) природные условия неоднородны, необходимо в процессе поисковых работ применять несколько методов, соотносясь с изменением условий*. В тех случаях, когда в пункте отбора геохимической пробы доступны для опробования коренная порода, элювий и вода, объект опробования выбирается исходя из поисковой задачи, подлежащей разрешению на данном этапе исследований. В этой связи уместно подчеркнуть различия в характере информации, получаемой в результате применения каждого из видов геохимического опробования (или каждого из геохимических методов поисков).

* В ряде случаев целесообразно в процессе подготовительных работ провести предварительное районирование территории по условиям проведения геохимических поисков на основе изучения характера распределения генетических типов рыхлых отложений путем предварительного дешифрирования аэрофотоматериалов и изучения материалов ранее проведенных работ.

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

2. Анализ пробы элювиально-делювиальных образований или растений дает усредненную геохимическую характеристику горных пород, перекрытых элювиально-делювиальными образованиями. Полученные геохимические данные могут быть экстраполированы в определенном направлении (вверх по склону) на расстоянии от нескольких до десятков метров. Допустимая величина экстраполяции зависит от положения точки опробования в рельефе и от локальных особенностей природных факторов, влияющих на формирование вторичных ореолов. Из таких факторов наиболее существенны и сравнительно легко поддаются учету: характер рельефа (крутизна и конфигурация склона); мощность, литологический и минералогический состав элювиально-делювиальных образований; обилие, гидродинамический режим и химический состав грунтовых вод; миграционные свойства искоемых элементов в данной природной обстановке. При благоприятных сочетаниях упомянутых природных факторов в элювиально-делювиальных образованиях и растительном покрове формируются вторичные ореолы, по площади значительно превышающие источник рассеивающихся элементов — тело полезного ископаемого и его первичный ореол.

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

4. В природных водах формируются наиболее широкие и протяженные аномалии химических элементов — компонентов полезных ископаемых. В связи с этим аномальные содержания в пробе воды одного или нескольких элементов могут свидетельствовать о наличии концентраций этих элементов в значительном удалении от точки отбора пробы, в пределах области питания опробуемого водотока или источника подземных вод. Восходящие подземные воды могут нести информацию о полезных ископаемых, залегающих на глубинах до нескольких сотен метров от поверхности.

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

На первом этапе поисков для выяснения общих перспектив на полезные ископаемые всей изучаемой площади и выявления в ее пределах перспективных участков наиболее ценную информацию и с наименьшими затратами можно получить в результате геохимического опробования

природных поверхностных и подземных вод или глинистых и илистых осадков в руслах естественных водотоков.

С этой целью проводится либо гидрохимическая съемка масштаба 1 : 50 000, либо литохимическая съемка того же масштаба с опробованием русловых осадков. Гидрохимическая съемка может быть более целесообразна в горных районах, где в руслах потоков нередко практически отсутствуют глинистые и илистые осадки, а литохимическая съемка с опробованием русловых осадков — в районах с нерезко расчлененным рельефом, особенно в условиях аридного климата, где большинство потоков периодически пересыхает. В тех случаях, когда возможно применение как гидрохимической, так и литохимической съемки, целесообразнее применять последнюю в связи с тем, что геохимические аномалии в осадках относительно более устойчивы.

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

На площадях со слабо развитой дренажной сетью геохимическая съемка с опробованием русловых осадков и вод может не обеспечить равномерного изучения: более или менее широкие плоские водоразделы останутся в значительной мере неопроискованными. Такие водоразделы исследуют путем опробования по отдельным маршрутам или по сети профилей почв либо растительного покрова. Почва опробуется там, где рыхлый покров представлен элювиально-делювиальными образованиями или дальнепринесенными отложениями небольшой мощности. При наличии покрова ледниковых, эоловых и других дальнепринесенных отложений мощностью 10—20, а иногда до 50 м и более эффективным может быть биогеохимическое опробование.

При более мощном покрове рыхлых отложений геохимические методы применяются в качестве вспомогательных при любых видах геологосъемочных и поисковых работ и сводятся к литохимическому и гидрохимическому опробованию картировочных и поисковых буровых скважин. Кроме того, на площадях с мощным рыхлым покровом могут проводиться так называемые глубинные геохимические поиски, когда пробы отбираются из кор выветривания или других горизонтов разреза в буровых скважинах, пробуренных специально для этой цели по определенной сети. Однако поисковые глубинные геохимические съемки из-за их большой трудоемкости и высокой стоимости не получают широкого распространения; они применяются изредка, главным образом при детальном поиске, ведущихся в масштабах 1 : 10 000 и крупнее.

Довольно долго в геохимической печати отражалась дискуссия по вопросу о сравнительной эффективности опробования коренных горных пород и рыхлых образований при литохимических съемках масштаба 1 : 50 000: одни считали более эффективным опробование пород («поиски по первичным ореолам»), другие — опробование рыхлых образований («поиски по вторичным ореолам»). Не приводя здесь всех аргументов в пользу той или другой точек зрения, отметим, что основное достоинство геохимических методов поисков заключается в возможности обнаружения признаков оруденения там, где оно не обнаруживается прямыми геологическими наблюдениями, т. е. прежде всего на площадях, где оруденение и вмещающие его породы необнажены и недоступны (или труднодоступны) для опробования. Кроме того, как было показано ранее, опробование вод, русловых осадков и других рыхлых образова-

ний по характеру получаемой информации больше отвечает решению поисковых задач геохимической съемки масштаба 1 : 50 000, чем опробование коренных пород, к тому же гораздо более трудоемкое. Очевидно, опробование коренных пород целесообразно с целью поисков оруденения, нераспознаваемого визуально, в форме детальных литохимических съемок на хорошо обнаженных перспективных участках, а также в горных выработках и буровых скважинах при поисковых и разведочных работах.

На втором этапе поисковых работ, имеющих целью выявление и предварительную оценку тел полезных ископаемых, задачей геохимических методов является оконтуривание геохимических аномалий, обнаруженных на первом этапе, а также обнаружение и оконтуривание других геохимических аномалий. Эта задача решается путем проведения детальных геохимических съемок (в масштабе 1 : 10 000 и крупнее) в пределах перспективных участков с опробованием чаще всего почв или растительного покрова и значительно реже — с опробованием коренных пород.

ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ОПРОБОВАНИЕ

Эффективность геохимических исследований во многом зависит от правильности опробования природных объектов, т. е. от методики отбора и обработки проб и системы их расположения на изучаемой площади. Поэтому разработке вопросов опробования уделялось много внимания, а некоторые из таких вопросов и в настоящее время являются предметом исследований и дискуссий.

Опыт научно-методических и производственных работ, выполненных после издания «Инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений» [182], подтверждает принципиальную правильность инструктивных указаний по опробованию элювиально-делювиальных и других рыхлых отложений, природных вод и растительного покрова при геохимических поисках месторождений полезных ископаемых. Рекомендуются частичные изменения лишь двух положений инструкции.

1. Применение равномерной (геометрической) сети отбора проб [182, § 35] следует считать обязательным при детальных литохимических и биогеохимических съемках перспективных участков. Для съемок же масштаба 1 : 50 000 равномерная сеть отбора проб может быть оправдана только на обширных равнинах с неясным геологическим строением, т. е. в очень редких случаях, так как обычно такие площади перекрыты мощными, часто дальнеприносными рыхлыми отложениями, исключающими возможность эффективного применения поисковых геохимических съемок.

Рекомендуется, как правило, в масштабе 1 : 50 000 проводить комплексную поисковую геохимическую съемку с отбором проб русловых осадков постоянных и временных водотоков в качестве основного вида опробования. В качестве дополнительных видов применяется опробование почв либо растений (в зависимости от мощности рыхлого покрова и других условий) на водоразделах в тех частях изучаемой площади, где дренажная сеть относительно слаборазвита, а также опробование подземных вод.

2. При просеивании отобранных и высушенных проб рыхлых образований рекомендуется применять, как правило, сито с диаметром отверстий 0,1 мм, а не 0,5—0,25 мм, как указано в § 65 упомянутой выше «Инструкции» [182].

Содержание металлов во фракции менее 0,1 мм обычно выше, чем в более крупных фракциях, и к тому же менее подвержено случайным резким колебаниям, благодаря чему по данным анализа мелкой фрак-

ции геохимические аномалии легче выявляются и надежнее оконтуриваются*.

Вопросы геохимического опробования коренных пород ко времени издания «Инструкции» [182] были недостаточно разработаны, да и в настоящее время они в той или иной мере дискуссионны. В «Инструкции» (§ 135) рекомендуется метод пунктирной борозды, когда проба 150—200 г составляется из 5—10 мелких проб, отобранных через некоторые (от 0,5 до 2 м) равные интервалы. Позднее предлагались другие варианты сборных проб (различающиеся по массе, по числу и относительному расположению точек отбора включаемых в пробу сколков породы, по размерам и форме площадки, с которой собирается проба), а также штупные пробы.

Проводились специальные методические работы по сравнительной оценке разных методов опробования коренных пород (А. А. Беус, 1965 г.; Н. Я. Яценко и др., 1965 г.), в том числе во ВСЕГЕИ А. А. Смысловым, Ф. Л. Думлером и другими в 1969—1970 гг. В выводах отдельных авторов имеются расхождения относительно методики опробования, массы проб, а также их количества, необходимого для объективной геохимической характеристики отдельного геологического тела. Наиболее убедительно обоснованные выводы можно кратко сформулировать следующим образом.

1. При поисковых геохимических съемках с целью выявления первичных ореолов, а также при других исследованиях, требующих возможно более полной и точной характеристики распределения химических элементов в неизмененных горных породах, необходимо применять штупное опробование (Н. Я. Яценко, 1965 г.; Ф. Л. Думлер, 1972 г.).

Отбор сборных проб (методом пунктирной борозды) может быть целесообразным для предварительной оценки минерализованных (гидротермально измененных) пород, а также в тех случаях, когда достаточно определение только содержания элементов.

2. Необходимая и достаточная масса геохимической пробы, определенная экспериментально, колеблется от 50 г для однородной мелкозернистой породы до 150 г для грубозернистой породы.

3. Для геохимической характеристики (определения параметров распределения элементов) большинства разновидностей горных пород достаточно 30—40 проб, более или менее равномерно распределенных по площади сечения или объему изучаемого геологического тела. Для однородных мелкозернистых пород необходимое количество проб может быть уменьшено до 25—30, для крупнозернистых и грубозернистых пород — должно быть увеличено до 40—50.

АНАЛИЗ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОБ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

В «Инструкции по геохимическим методам поисков рудных месторождений» (1965 г.) охарактеризованы методы анализа проб и условия их применения, а также обычно применяющиеся в практике поисковых работ способы обработки результатов анализа. После издания «Инструкции» некоторые из этого круга вопросов были предметом обсуждения или специальных исследований.

Как известно, в Советском Союзе для целей геохимических исследований наиболее широко применяется спектральный анализ. В то же время за рубежом (США, Австралия) геохимические поиски ведутся

* В некоторых специфических условиях содержания отдельных металлов могут быть выше в более крупных фракциях. В таких случаях наилучшую для отбора проб фракцию следует определять опытным путем.

большей частью на основе колориметрических методов анализа или анализа с применением атомно-абсорбционных спектрофотометров. Этими методами с достаточной для поисковых работ производительностью определяется содержание небольшого числа элементов, обычно от двух до пяти, что позволяет решать первую задачу узкоспециализированных поисков на определенные виды полезных ископаемых — выявление геохимических аномалий. Столь ограниченное число определяемых элементов не обеспечивает необходимую по нашим требованиям комплексность поисков, а объем получаемой информации недостаточен для оценки выявленных аномалий.

В последние годы в СССР выполнен ряд исследований (В. Г. Хитров, Р. В. Кортман, 1969 г.) по сравнительной оценке различных методов анализа, убедительно показавших, что спектральный анализ по чувствительности и правильности результатов не уступает другим методам и в большинстве случаев позволяет решать задачи геохимических исследований при геологической съемке и поисках. Следовательно, спектральный анализ, главным образом приближенно-количественный, обеспечивающий большую по сравнению с другими методами комплексность поисков и полноту геохимической информации, с полным правом остается основой геохимических поисков. Лишь для решения некоторых задач, таких как поиски отдельных специфических полезных ископаемых или выявление очень слабых аномалий, чувствительность и точность спектрального анализа оказываются недостаточными и необходимо применять более чувствительные и точные методы. Следует также подчеркнуть, что все рядовые геохимические пробы, отобранные в исследуемом районе, необходимо анализировать в одной лаборатории, так как сравнение результатов анализа, полученных в разных лабораториях, в большинстве случаев неубедительно или даже недопустимо из-за больших различий в величинах систематических ошибок.

Количество элементов, на которые должны анализироваться геохимические пробы, не может быть указано в качестве общей рекомендации, поскольку очевидно, что как количество, так и конкретный список интересующих нас элементов будут различными в разных районах и на разных этапах поисков. Так как геологосъемочные и поисковые работы масштаба 1 : 50 000 ставятся обычно в районах, для которых общие черты геологического строения и вероятный комплекс полезных ископаемых более или менее достоверно установлены, при проектировании геохимических поисков можно обоснованно выбрать элементы, представляющие интерес в данном районе.

Для решения задач поисковых съемок масштаба 1 : 50 000 в число подлежащих определению элементов включаются главные компоненты всех вероятных в исследуемом районе полезных ископаемых или те из них, которые отличаются относительно хорошей подвижностью в зоне гипергенеза и на которые применяемый метод анализа обладает достаточной чувствительностью. Для целей детальных поисков на перспективном участке пробы анализируются на главные компоненты выявленного здесь полезного ископаемого и характерные для него элементы-примеси.

Обработка результатов анализа проб имеет целью выявление геохимических аномалий и получение данных для их предварительной интерпретации. Интенсивные аномалии выявляются довольно просто путем сравнения содержаний элементов в пробах с их кларками — глобальными или региональными средними содержаниями либо в земной коре, либо в определенных типах горных пород (в тех случаях, когда геологическое строение района работ достаточно хорошо известно). Наиболее широко этот метод, именуемый методом кларков концентраций, применяется при гидрогеохимических поисках, когда приходится иметь дело с относительно небольшим на единицу площади количеством

проб, в которых содержания химических элементов соответственно усреднены по сравнению с горными породами. Но для выявления слабых литохимических аномалий этот метод непригоден. Приходится прибегать к методам вариационной статистики с целью определения средних содержаний и других параметров распределения элементов для ограниченных площадей (местный геохимический фон), и здесь возникает ряд затруднений.

Методы вариационной статистики, как известно, применимы для изучения совокупности случайных величин, таких как отдельные значения содержаний химических элементов в однородной горной породе. Но они неприменимы в тех случаях, когда интересующие нас величины распределены упорядоченно, как, например, содержания элементов в рудном теле и его ореоле. Поэтому для статистической обработки результатов анализа необходимо группировать пробы в однородные выборки, состоящие из проб, отобранных в нормальном геохимическом поле, под которым, строго говоря, надо понимать площадь распространения определенной однородной горной породы или соответствующего ей покрова рыхлых образований. Поскольку параметры распределения элементов в нормальном поле неизвестны (их еще предстоит вычислять), практически невозможно избежать включения в выборку аномальных проб, а включение таких проб делает выборку в какой-то степени неоднородной. Кроме того, в горных породах всегда в той или иной степени проявлена зональность строения или фациальная изменчивость, выражающиеся в упорядоченности распределения элементов, т. е. применительно к породам и другим связанным с ними природным средам понятие однородности всегда относительно.

Таким образом, в практике геохимических исследований при статистической обработке результатов анализа проб всегда мы имеем дело с не вполне однородными выборками. Этим, видимо, и объясняется тот факт, что распределение содержаний элементов всегда лишь приближенно соответствует или не противоречит одному из математических законов, чаще всего логнормальному или нормальному. Но установленный закон распределения, как было выяснено некоторыми исследователями (В. Н. Казмин, 1966 г.), иногда представляет собой закон распределения случайных ошибок анализа, а не истинных содержаний элементов в горной породе или другой природной среде.

Параметры распределения содержаний элементов вычисляются по-разному при различных законах их распределения. Следовательно, если неверно установлен закон распределения, то и вычисленные параметры будут неверны; а это, в свою очередь, повлечет за собой ошибки при выявлении слабых аномалий: пропуск аномалий, если параметры (среднее содержание и оценка величины дисперсии) выше реальных, и выделение не существующих в действительности аномалий, если параметры ниже реальных.

Из вышеизложенного можно сделать логически правильный вывод, что коль скоро в практике геохимических работ мы всегда имеем дело с неоднородными средами, мы не вправе применять для обработки результатов анализа проб методы вариационной статистики. Однако в течение многих лет эти методы с успехом применяются при геохимических поисках, что вполне объяснимо. Принимая поле распространения геологически однородной породы или нескольких близких по составу пород за однородные геохимические поля, мы допускаем упрощение до известного уровня, определяющегося некоторой поддающейся оценке степенью приближения распределения содержаний элементов к одному из теоретических законов. Вычисленные для этого поля средние параметры распределения всегда и в любой точке его на какую-то величину отличаются от истинных параметров, но тем не менее они представляют собой объективные геохимические характеристики, позволяющие как выявлять

сходство или различие сравниваемых геологических тел, так и выделять геохимические аномалии.

Недостаточная точность определения параметров распределения содержаний элементов в нормальном геохимическом поле ощутимо сказывается в виде малой определенности верхнего уровня нормальных содержаний, который должен бы рассматриваться и как нижний уровень аномальных содержаний. В практике поисковых работ эта сомнительная область исключается с помощью известного правила трех стандартных отклонений: за нижний предел аномальных значений принимаются значения, превышающие фон на три стандартных отклонения.

В последнее время предпринимаются попытки выявления слабых аномалий, характеризующихся значениями содержаний, близкими к нормальным. Это может быть достигнуто путем применения высокоточных аналитических методов и специальных методов математической обработки результатов анализа. Так, метод скользящего статистического окна позволяет путем определения узколокальных параметров распределения содержаний элементов в кажущемся однородным геохимическом поле выявить детали его строения, его действительную неоднородность. Выявленные таким путем аномалии отражают либо зональность или фаціальную изменчивость геологических тел, либо слабые проявления оруденения. Аномалии первого вида полезны как косвенные критерии для суждения о перспективах изучаемой площади на полезные ископаемые. Аномалии второго вида, если их природа может быть установлена с достаточной определенностью, являются прямым указанием на имевшие место процессы минерализации и, следовательно, на возможность наличия не вскрытых эрозией (так называемых слепых) тел полезных ископаемых. Поэтому методика обнаружения слабых геохимических аномалий рассматривается как один из важных аспектов проблемы поисков слепых рудных тел.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ И ОЦЕНКА ПРОЯВЛЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Генезис геохимических аномалий в элювиально-делювиальных образованиях, в осадках и водах речной сети (не говоря уже о коренных породах) в большинстве случаев выясняется в процессе обследования геологом аномальных площадей, в случае необходимости с небольшими объемами шлихового опробования или горных работ и, разумеется, с учетом всей имеющейся геологической, геофизической и прочей информации.

Труднее решить вопрос о природе геохимических аномалий в подземных водах, а также в рыхлых отложениях равнинных, плохо обнаженных районов, особенно в пониженных участках рельефа, где аномалии могут образовываться за счет приноса природными водами и накопления элементов, являющихся компонентами как рудных тел, так и некоторых горных пород, расположенных в удалении от аномальных участков или ниже уровня эрозионного среза. Иногда характер геохимической аномалии (форма, размер, уровень содержаний и ассоциации элементов) и ее положение в геологической структуре свидетельствуют о наличии оруденения в пределах аномального участка достаточно убедительно, чтобы рекомендовать постановку здесь геофизических исследований или поискового бурения. В других случаях природа и приблизительное местоположение источника таких аномалий могут быть выяснены путем применения корреляционного анализа с использованием электронно-вычислительных машин, изучения и анализа химизма и гидродинамического режима подземных вод, как изложено в вып. 10 «Методических указаний по геологической съемке масштаба 1:50 000» [271].

Следует, однако, подчеркнуть, что необходимо во всех случаях использовать для интерпертации геохимических аномалий всю сумму доступной геологической и иной информации о исследуемой площади, прежде чем прибегать к трудоемким и зачастую еще недостаточно разработанным и апробированным методам математической обработки геохимических данных.

Особую проблему представляет оценка проявлений полезных ископаемых по связанным с ними геохимическим аномалиям в рыхлых образованиях и коренных породах. Очевидными критериями для сравнительной оценки сходных по составу рудопроявлений являются размеры аномалий (протяженность по руслам водотоков или площадь) и их интенсивность (уровень содержания элементов). Наибольшие по площади или протяженности и относительно более интенсивные аномалии, естественно, оцениваются как соответствующие более крупным и богатым рудопроявлениям, заслуживающим первоочередного изучения.

С целью получения более удобной количественной оценки геохимической аномалии ее размер и интенсивность путем несложных арифметических действий сводятся к одному показателю — продуктивности аномалии (в «Инструкции» 1965 г. — продуктивности ореола или потока рассеяния), выражаемой в метропроцентах или в тоннах металла для слоя в 1 м. Для перехода от количественной характеристики аномалии к количественной оценке масштаба соответствующего ей рудопроявления предложены формулы, включающие коэффициент пропорциональности между рудным телом и его вторичным ореолом (между их размерами в плане и содержаниями металлов), который может быть определен после вскрытия и опробования рудного тела в нескольких сечениях. Очевидно, что при оценке вскрытого выработками и опробованного рудного тела геохимическая аномалия полезна уже только для уточнения его размеров в плане за пределами контура горных выработок или буровых скважин. Вычисленный коэффициент пропорциональности рекомендуется использовать для оценки по вторичным геохимическим ореолам других, еще не вскрытых выработками рудных тел, находящихся в сходной ландшафтно-геохимической и геологической обстановке.

Нет сомнений в том, что пропорциональность между рудным телом и его вторичным ореолом существует. Надо, однако, иметь в виду, что она определяется особенностями геологического строения участка, генезиса, состава и мощности рыхлых образований, рельефа и положения рудного тела в рельефе, химизма и режима грунтовых вод и т. п. Характеристики каждого из многих факторов и их сочетания могут существенно варьировать даже в пределах площади одного рудопроявления; и вряд ли найдутся два разобщенных участка, настолько сходные, что коэффициенты пропорциональности между рудными телами и вторичными ореолами в их пределах окажутся одинаковыми или достаточно близкими.

На этапе детальных поисков, когда рекомендуется применять упомянутые формулы с коэффициентами пропорциональности, основой оценки выявленных геохимическими съемками рудопроявлений являются результаты геологических, геофизических и горно-буровых работ. В процессе этих работ просто нет места для менее достоверных количественных оценок рудопроявлений по характеристикам их вторичных ореолов.

Специфические вопросы встают перед поисковиками при подходе к оценке слабых геохимических аномалий в коренных породах, выявляемых в результате опробования пород на обнажениях или в горных выработках и буровых скважинах в процессе геохимических съемок. Для оценки таких аномалий необходимо выяснить, какого состава и генезиса минерализация проявлена на аномальном участке, является ли эта минерализация первичным ореолом рудного тела, и если это ореол, то какая его часть — верхняя (надрудная) часть ореола «слепого» рудного

тела или нижняя (подрудная) часть ореола рудного тела, уничтоженной эрозией.

Состав минерализации определяется по ассоциациям аномальных элементов и рудообразующих минералов. Гидротермальный генезис наиболее часто встречающихся рудопроявлений обычно узнается по видимым изменениям минерального состава пород. Отсутствие изменений пород в пределах аномального участка свидетельствует об экзогенной минерализации в осадочных породах или о магматической минерализации — в некоторых разновидностях интрузивных пород.

Значительно труднее выяснить, представляет ли обнаруженная аномалия ореол рудного тела или убогую минерализацию, не связанную с промышленной концентрацией элементов, и если это ореол, то какая его часть. Эти два тесно взаимосвязанных вопроса могут решаться на основе детального количественного изучения ассоциаций рудообразующих элементов и минералов с применением методов корреляционного анализа, путем сравнения полученных характеристик с характеристиками хорошо изученных первичных ореолов рудных тел аналогичного состава и генезиса, находящихся в сходной с изучаемым участком геологической обстановке. Решение этой задачи значительно облегчается, если есть возможность выяснить изменения с глубиной уровня содержания и ассоциаций элементов и минералов. При этом нужно учитывать наличие многочисленных факторов, в совокупности определяющих форму, размеры и зональность первичных ореолов, влияющих на успешность решения поставленной задачи.

Несомненно, оценки предполагаемых рудопроявлений по выявленным геохимическим аномалиям, будь то первичные или вторичные ореолы, необходимы и важны при геологических съемках любого масштаба. Но они по существу являются только оценками сравнительной перспективности аномальных участков. Попытки количественно оценивать рудопроявления по геохимическим данным отражают устаревшее представление о геохимических методах поисков как о самостоятельном виде работ, способном решать все поисковые задачи. Это представление отразилось и в названиях геохимических методов, как, например, «литогеохимический метод поисков эндогенных месторождений по их первичным ореолам».

В действительности же геохимические методы являются методами поисков только геохимических аномалий. Даже уверенное определение природы геохимической аномалии практически невозможно без применения геологических методов. А поиски и оценки собственно месторождений полезных ископаемых, предположительно связанных с выявленными геохимическими аномалиями, осуществляются в комплексе с геофизическими и геологическими методами.

СПОСОБЫ ГРАФИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Основным способом наглядного изображения результатов геохимических исследований считается [182, 271] составление геохимических карт двух типов: моноэлементных и полиэлементных. Предлагается на таких картах не приводить сведений о распределении элементов в геохимически однородных геологических телах (участках), а выносить их в зарамочное оформление либо в текст в виде таблиц, графиков, диаграмм. Это в значительной мере разгружает карты и позволяет наиболее полно и наглядно показать на них только те участки, где первично-конституциональное распределение элементов или их групп нарушено, показать зоны привноса и выноса, а также геохимические ореолы месторождений и отдельные локальные аномалии.

В качестве исходного документа обязательно составление карт-накладок для каждого из определяемых элементов с вынесением содер-

жений в точках пробоотбора. Только анализ таких карт, а не просмотр ведомостей анализов позволяет отсеять химические элементы, не образующие аномалий. Для всех элементов, по которым фиксируются пусть самые слабые геохимические аномалии, обязательно составление моноэлементных карт. Удобнее всего выполнять их в виде накладок на геологическую карту, показывая значения содержаний в точках опробования и контуры геохимических аномалий. Эта информация, в минимальной степени обобщенная, хранится как основа для возможной в будущем переинтерпретации полиэлементных геохимических карт, которые всегда несут некоторый элемент субъективизма исполнителя. При изображении геохимических аномалий сочетаются два принципа. Первый — необходимость сравнения аномалий с переменным от объекта к

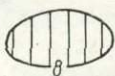


Порядок аномалий	Площадные аномалии	Точечные аномалии	Точечные аномалии на дайках
Нулевой $\bar{X} + 3S \leq X_i < \bar{X} + 5S$			
Первый $\bar{X} + 5S \leq X_i < \bar{X} + 10S$		⊕ 20	⊕ 20
Второй $X_i \geq \bar{X} + 10S$		⊕ 100	⊕ 100

Рис. 75. Условные обозначения к геохимическим картам.

объекту геохимическим фоном. Степень превышения над местным фоном определяет порядок аномалий. Аномалии нулевого порядка выделяются по ряду коррелирующихся проб, каждая из которых не превышает уровня $\bar{X} + 3S$. Содержания $\bar{X} + 3S \leq X_i < \bar{X} + 5S$ относятся к аномалиям первого порядка, а $X_i \geq \bar{X} + 5S$ — к аномалиям второго порядка* (рис. 75, 1). Вторым принципом является показ собственно содержаний элементов для всех аномалий, как для площадных, так и для зафиксированных по отдельным пробам. Если для аномалий нулевого и первого порядка содержание элемента особого значения не имеет, а главным является сам факт аномальности и степень отличия от фона, то для аномалий второго порядка гораздо важнее знать не степень концентрации, а непосредственно содержание элемента. По этой причине нецелесообразно выделение градаций более высоких порядков, где содержания элементов уже близки к промышленным.

Аналогичным образом выделяются и отрицательные аномалии, но порог чувствительности анализа далеко не всегда позволяет их зафиксировать. Кроме геохимических аномалий полезно показывать на картах так называемые зоны преимущественного привноса (выноса) химических элементов, которые выделяются либо по слабо повышенным (пониженным) содержаниям элементов в подавляющем большинстве проб, либо по серии сближенных в этом контуре геохимических аномалий. Эта операция позволяет получить ценную информацию для элементов, обнаруженных из-за низкой чувствительности анализа только в небольшом количестве проб (например, мышьяк, серебро, висмут, вольфрам). Часто те пробы, в которых элемент присутствует, располагаются в пространстве вполне закономерно.

* \bar{X} — оценка среднего, S — оценка среднего квадратического отклонения. В зависимости от типа распределения эти оценки вычисляются либо для содержаний элементов, либо для их логарифмов.

Полиэлементные карты составляются методом наложения моноэлементных (рис. 76). Содержания элементов здесь уже не показываются, а степень концентрации отражена так же, как и на моноэлементных картах, штриховкой и дублируется размером символа элемента (см. рис. 75). Естественное желание составителя показать максимально подробно внутреннюю структуру геохимических аномалий должно быть ограничено требованиями наглядности и читаемости карты, цель которой показать наиболее общие закономерности распределения главных гео-

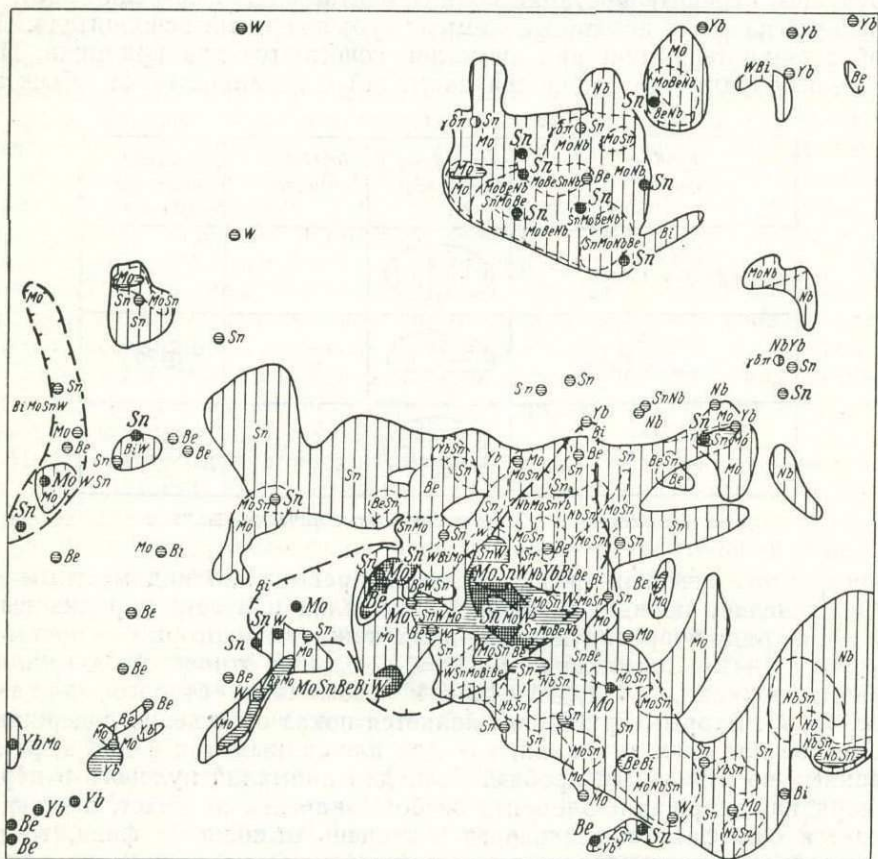


Рис. 76. Полиэлементная геохимическая карта района редкометального месторождения.

Усл. обозначения см. на рис. 75.

химических ассоциаций. При необходимости всегда есть возможность вернуться к моноэлементным картам, где отражены все детали.

В случае большой перегруженности карт имеет смысл составлять карты раздельно для ведущих групп элементов, например для редких и цветных металлов (см. рис. 76). Возможно составление карт на геологической основе, но чаще всего это приводит к перегрузке и сопровождается чисто техническими сложностями: размножение основы, раскраска и т. п. Наиболее просты и наглядны карты-накладки на прозрачной бумаге, легко совмещаемые с геологической картой и с другими видами карт, например с геофизическими.

Еще бóльшая степень обобщения информации свойственна схемам геохимической зональности, на которых могут быть показаны только самые общие закономерности соотношения геохимических ассоциаций. Способы их изображения в достаточной мере произвольны и определяются конкретной ситуацией. При ведущей роли линейных разрывных

структур очень удобно выносить на такие схемы только осевые линии геохимических аномалий соответственно их вытянутости и с учетом расположения локальных максимумов. Эти линии, накладываясь и продолжая друг друга, трассируют крупные рудоподводящие и рудоконтролирующие структуры. Если преобладают аномалии кольцевой или изометричной формы, принцип изображения зональности может быть иным, а в ряде случаев схемы зональности вообще не нужны, так как главные закономерности вполне отчетливо видны уже на полиэлементных картах.

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ В РАЙОНАХ, РАЗЛИЧНЫХ ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ СТРОЕНИЮ И КОМПЛЕКСАМ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Под специализацией подразумеваются определенный комплекс методов исследований, необходимый и достаточный для выявления перспектив данного района на все характерные для него полезные ископаемые, и повышенные требования к полноте изучения полезных ископаемых, главных в данном районе по вероятной распространенности и ценности для народного хозяйства.

Ниже изложены основные особенности (специализация) исследований, нацеленных на выявление групп полезных ископаемых различного генезиса: нефти и газа; полезных ископаемых осадочного генезиса, раздельно в платформенных и складчатых районах; полезных ископаемых эндогенного генезиса; полезных ископаемых, связанных с четвертичными отложениями.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА В ПЛАТФОРМЕННЫХ И СКЛАДЧАТЫХ РАЙОНАХ

При геологических съемках общего направления (а не профилированных на нефть и газ, составной частью которых являются крупные геофизические работы и глубокое бурение) в задачу геологов-съемщиков входит: зафиксировать и охарактеризовать все признаки нефтегазонасности в районе; установить и оценить геологические предпосылки нефтегазонасности; обосновать постановку в районе комплекса детальных поисковых работ на нефть и газ силами специализированных организаций.

В районах, перспективных на нефть и газ, при геологической съемке крупного масштаба, согласно § 112 «Основных положений...» [326], необходимо провести:

- а) выявление перспективных структур и углубленное их изучение;
- б) изучение стратиграфического разреза для выявления продуктивных стратиграфических подразделений и формаций;
- в) изучение литологии и фаций продуктивных отложений и физических параметров пород продуктивных толщ.

При оценке перспектив нефтегазонасности района необходимо помимо учета материалов предшественников принимать во внимание следующие региональные геотектонические критерии:

- 1) компенсированное погружение значительных территорий, длительное и устойчивое во времени, с выполнением формирующихся прогибов осадочными толщами мощностью более 1000 м;
- 2) отсутствие или слабое проявление магматизма, как конседиментационного, так и постседиментационного;

3) отсутствие заметного метаморфизма пород, приводящего к их уплотнению и снижению пористости;

4) наличие складчатости низших порядков в пределах бассейна регионального прогибания и осадконакопления, в особенности — ранних конседиментационных складок прерывистого роста;

5) периодические изменения режима регионального погружения, следствием которых является смена состава осадков и чередование по разрезу и в плане пород-коллекторов и пород, могущих экранировать залежи;

6) наличие крупных глубинных разломов длительного развития в центральной или краевых частях бассейна седиментации;

7) наличие в породах развитой сети тектонических трещин-коллекторов.

К числу региональных благоприятных показателей возможной нефтегазоносности района многие геологи относят также присутствие в стратиграфическом разрезе так называемых нефтематеринских свит, т. е. пород, содержащих органическое вещество (углистое, керогенное), которое может быть исходным материалом для нефти (М. Ф. Двали, 1963 г.).

Признаки нефтеносности принято делить на достоверные и предположительные, или косвенные (табл. 8). К достоверным признакам неф-

Таблица 8

Обзор признаков нефтеносности
(по Н. Б. Вассоевичу и В. А. Успенскому, 1954 г., с сокращениями)

Достоверные признаки	Предположительные признаки	
	Вероятные следы воздействия нефти на породы	Возможные спутники нефти и продукты их изменения
Жидкая и вторично рассеянная нефть и пропитанные ею породы	Биогенная сера Сероводород	Повышенное содержание иода в водах
Мальты и асфальты Закированные битуминозпороды Озокерит	Бессульфатность вод	Метановый газ со следами гомологов метана
Жильные асфальтиты и кериты Нафтеновые кислоты	Изменение окраски пород (например, красноватых тонов на зеленоватые) в результате восстановительных процессов, обусловленных окислением нефти	
Углеводородные газы, содержащие заметное количество гомологов метана	Присутствие в породах специфической микрофлоры (метанооксиляющих и других бактерий)	

теносности относятся прямые проявления нефти, продуктов ее изменения или углеводородных газов — гомологов метана. К ним принадлежат выходы капельно-жидкой нефти с подземными водами, вскрываемыми источниками и скважинами, следы пропитывания нефтью пористых и трещиноватых пород вдоль разломов, на выходах в свежих обнажениях, в керне скважин.

При длительном пребывании пород с нефтью в зоне окисления возникают мальты — темноокрашенные вязкие продукты загустевания и первоначального окисления нефти, сохраняющие ее характерный запах и обогащенные смолами. При далеко зашедших окислении и полимеризации углеводородов нефти формируются очень вязкие и полутвердые черные или темно-бурые битумы — асфальты. Последние могут пропитывать и цементировать пески либо известняки (мергели) с образованием своеобразных темных закированных пород, или киров, фор-

мирующихся у дневной поверхности. Выходы таких пород важны не только как показатель нефтеносности недр, но и как самостоятельное полезное ископаемое (подлежат опробованию с последующими анализами).

Парафинистые типы нефтей, преобразуясь вблизи дневной поверхности, могут давать жильные скопления озокерита (горного воска), который также является ценным полезным ископаемым. Глубокое преобразование нефтяных углеводородов, с их частичным окислением и полимеризацией, приводит к формированию керитов и асфальтитов — твердых хрупких углеводородов, частично или вполне растворимых в органических растворителях (хлороформе и др.), а иногда плавящихся с разложением.

Все признаки жидких, пластичных и твердых углеводородов — производных нефти — при съемке тщательно фиксируют; отбирают образцы для лабораторных битуминологических анализов, простейших полевых исследований (проба пятном на бумаге; проба на окрашивание растворителей — бензина, ацетона, спиртобензола, хлороформа; нагревание в пробирке) и люминесцентно-битуминологических анализов в специальной полевой лаборатории (В. Н. Флоровская, 1949, 1951 гг.).

Наличие в подземных водах циклических нафтеновых кислот, слабо растворимых в воде и обладающих характерным запахом, считается надежным показателем нефтеносности. Воды такого рода отбирают для количественного определения в них нафтеновых кислот. В такой же мере достоверным признаком нефтегазосности считают выходы углеводородных горючих газов со значительным участием в них более тяжелых гомологов метана — этана, бутана и особенно пропана. Газовые выходы при съемках также подвергают опробованию, набирая газ для анализа в баллоны, предварительно наполненные водой (методические приемы см. в книге М. В. Абрамовича «Исследование выходов природных газов», 1948, с. 371).

Методике оценки перспектив нефтегазосности территории, основанной преимущественно на систематическом отборе и изучении газовых выделений, посвящена работа В. А. Соколова и Г. Г. Григорьева (1962 г.). На изучении в подземных водах комплексов микрофлоры, окисляющей метан и пропан (углеводородная микрофлора) и разрушающей нафтеновые кислоты, основан микробиологический метод поисков нефтяных и газовых залежей (Г. А. Могилевский, 1953 г.).

Присутствие серы в породах в виде эпигенетических желваковых накоплений или коллоидной серы в водах иногда может служить признаком нефтеносности недр, поскольку самородная (элементарная) сера нередко образуется при биохимическом восстановлении сульфатов, с участием в этих процессах углеводородных нефтяных газов. Выходы сероводорода и вод, насыщенных сероводородом, также являются одним из признаков возможной нефтеносности, когда сульфат-ионы возникают в качестве продукта редукции сульфатов при воздействии на последние углеводородов. К той же категории геохимических признаков возможной нефтегазосности относится бессульфатность вод (В. Б. Торгованова и др., 1968 г.).

Геологические предпосылки нефтегазосности, помимо перечисленных выше достоверных и предположительных признаков, определяются наличием в разрезе пористых (или трещиноватых) коллекторских горизонтов и экранирующих их малопроницаемых толщ, а также присутствием в районе локальных структурных форм, в связи с которыми могут образоваться ловушки для нефти и газа. Основными физическими показателями пород-коллекторов, определяющими их возможную нефтегазосность, являются пористость и проницаемость.

В целях лабораторного изучения коллекторских и других физических свойств в перспективном районе из обнажений и керна скважин

систематически отбирают образцы пород, которые бы характеризовали все горизонты стратиграфического разреза, благоприятные по визуальным полевым данным и геофизическим показателям в качестве коллектора. Образцы берут с минимальным нарушением их естественной структуры (размер $9 \times 12 \times 5$ см) для определения в них:

а) коэффициента общей или полной пористости (K_{Π}) —

$$K_{\Pi} = \frac{\text{объем всех пор}}{\text{объем породы (в целом)}};$$

б) коэффициента действительной или открытой пористости (K_o) —

$$K_o = \frac{\text{объем открытых пор}}{\text{объем породы (в целом)}};$$

в) коэффициента эффективной пористости ($K_{\text{э}}$) —

$$K_{\text{э}} = \frac{\text{объем пор, из которых может быть извлечена нефть}}{\text{объем породы (в целом)}}.$$

В этих же породах (если показатели их пористости достаточно удовлетворительны) определяют проницаемость (в дарси или миллидарси), от которой зависит способность породы отдавать содержащуюся в ее порах нефть (газ). Кроме того, в шлифах пород под микроскопом определяется характер (структура) и генетическая природа их порового пространства.

Коллекторские горизонты выявляются не только непосредственным наблюдением над породами в обнажениях и горных выработках, но и изучением каротажных материалов по буровым скважинам. Каротажные диаграммы нередко дают возможность при их интерпретации выявить в разрезе коллекторский горизонт и проследить его распространение на площади (В. Н. Дахнов, 1959, 1963 гг.), [184].

Для толщ, которые по физическим свойствам и положению в разрезе (перекрытость экранирующими породами, достаточная глубина залегания, участие в благоприятных для накопления нефти и газа тектонических структурах) представляются наиболее перспективными на нефтегазоносность, ставится углубленное изучение их литологии и фациального состава и смены этих признаков на площади, с учетом возможности формирования литологических ловушек.

При наличии в стратиграфическом разрезе потенциально нефтегазоносных пластов-коллекторов особое внимание уделяется выявлению и изучению тектонических структур, которые могут способствовать созданию ловушек. К такого рода благоприятным структурам относятся:

а) антиклинальные поднятия с отдельными антиклиналями низших порядков или флексурами на крыльях;

б) крылья (склоны) тектонических поднятий или погружений (региональные моноклинали) с подчиненными им локальными структурами низшего порядка, такими как флексуриобразные перегибы; несогласия в залегании потенциально нефтегазоносного горизонта (свиты) и перекрывающих его отложений; экранирующие коллекторский горизонт плоскости тектонических разломов;

в) поднятия типа солянокупольных структур.

Для наиболее перспективных и доступных (по степени глубинности съемки) изучению локальных структур составляются структурные карты и профили на основе инструментальной съемки положения маркирующих горизонтов, фиксируемых по разрезам специально задаваемых для этой цели скважин (о методах составления структурных карт см. т. 1, гл. IV, V).

Таким образом, оценка перспектив нефтегазоносности района при крупномасштабной геологической съемке помимо изучения материалов

предшественников базируется на использовании следующего комплекса методов и приемов:

а) региональный структурно-тектонический анализ разреза изученного района, определяющий общие историко-геологические предпосылки нефтегазонакопления;

б) литолого-фациальный анализ разреза, позволяющий установить наличие нефтематеринских (нефтепроизводящих) свит (формаций), а также толщ с коллекторскими свойствами и толщ, могущих экранировать залежи;

в) учет признаков нефтегазоносности, как достоверных, так и предположительных (см. выше, табл. 8). При этом применяются геохимические и гидрогеохимические методы, такие как полевой и лабораторный битуминологический анализ, анализ газовых выделений и подземных вод, анализ конкреций и полевые наблюдения над окраской пород в свежих выходах и керне скважин;

г) выявление и изучение пористых коллекторских горизонтов с использованием для этого непосредственных полевых наблюдений и геофизических методов, применяемых в нефтепромысловой геологии, а также лабораторных и петрографических методов характеристики коллекторских свойств пород по образцам;

д) фиксация локальных структур, могущих создавать ловушки для накопления углеводородов, с использованием для этого аэрогеологических и геофизических методов и приемов структурного геологического картирования.

Различные методические приемы поисков и принципы комплексной оценки перспектив нефтегазоносности кроме названных выше основных работ подробно изложены в руководствах [2, 43], (И. О. Брод, Е. Ф. Фролов, 1950 г.; А. А. Бакиров и др., 1968 г.).

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ОСАДОЧНОГО ГЕНЕЗИСА В ПЛАТФОРМЕННЫХ РАЙОНАХ

Предварительно заметим, что для поисков большинства чисто осадочных полезных ископаемых известны некоторые общие исходные предпосылки, или поисковые критерии, применяемые, с учетом специфики региона, при поисках как на платформах, так и в складчатых областях. Эти критерии обусловлены генетической природой такого рода полезных ископаемых, которые своим происхождением тесно связаны со стадиями седиментогенеза и диагенеза осадочных толщ. К наиболее общим поисковым критериям осадочных полезных ископаемых относятся следующие.

1. Стратиграфические, или возрастные, критерии. Основаны на наблюдаемой в региональном и планетарном масштабе тенденции к приуроченности ряда полезных ископаемых к определенным интервалам стратиграфической шкалы. Например, ископаемые угли чаще встречаются в отложениях карбоновой, юрской, меловой, палеогеновой и неогеновой систем; залежи солей во многих районах мира тяготеют к верхнему палеозою; промышленные марганцевые месторождения наиболее часты в палеогене и т. д. Для отдельных регионов такое тяготение осадочных месторождений к иногда очень узким стратиграфическим интервалам носит строгий характер и является в ряде случаев вполне надежным поисковым и прогнозным критерием (нижнемезозойские угли Восточного Казахстана, ванадиеносные кембрийские отложения того же региона, кварцевые пески низов полтавской серии на юге Русской платформы и т. д.).

2. Палеогеографические критерии (в их широком понимании). Представляют собой группу взаимосвязанных предпосылок для наход-

дения того или иного осадочного полезного ископаемого по обстановкам прошлого. Таковы палеоклиматические критерии, по которым осадочные толщи относят к одному из двух основных типов литогенеза — гумидному или аридному (Н. М. Страхов, 1962 г.). Соответственно предполагается, что в толщах гумидного типа есть перспективы встретить руды железа, марганца и алюминия, в аридных же — накопления эвапоритов и осадочных руд меди, свинца и цинка. К этой же группе принадлежат палеогеоморфологические критерии, по которым бокситы, ископаемые угли и огнеупорные глины чаще приурочены к фазам континентального выравнивания, а россыпи металлов — к фазам обновления рельефа и накопления преимущественно грубообломочного материала [26], (М. И. Ициксон, 1953 г. и др.).

Собственно палеогеографические (в узком смысле термина) критерии указывают на распределение и контуры суши и водоемов. Они могут служить, например, для выделения зоны пляжей, перспективной на древние прибрежно-морские россыпи; для определения пелагической области морей, перспективной на наиболее чистые известняки; зоны лагун, где в аридном климате могут формироваться соляные залежи, а в гумидном и семигумидном — горючие сланцы или ископаемые угли.

Сюда же относятся литолого-фациальные критерии. Они по существу представляют собой конкретизацию общих палеогеографических предпосылок для поисков и основаны на установленных фактах локализации осадочных полезных ископаемых в отложениях определенных групп и отдельных фаций и соответствующих типов пород. Эти критерии относятся к наиболее конкретным и надежным для поисков и близки по своему значению к представлению о поисковых признаках полезных ископаемых (В. М. Крейтер, 1969 г.; Е. О. Погребницкий, 1968 г.).

3. Геотектонические критерии. Основаны на преимущественной, а иногда и на исключительной приуроченности некоторых осадочных полезных ископаемых к регионам с определенным геотектоническим режимом либо к тектоническим структурам определенного типа. Так, например, кварцевые пески и каолиновые огнеупорные глины тяготеют к стабильным платформам; яшмовые породы присущи только геосинклинальному осадконакоплению; высокопродуктивные угленосные толщи формируются только в структурах погружения и т. д.

Из сказанного о поисковых критериях видно, что для обоснованного выделения и полной характеристики площадей, перспективных на осадочные полезные ископаемые, необходимо кроме ознакомления с материалами предшествующих среднемасштабных съемок предварительно учесть следующие материалы:

1) данные по району, отраженные в литолого-фациальных и палеогеографических картах и атласах разных масштабов, включая и обзорные;

2) материалы по структурно-тектоническому районированию и палеотектонические карты;

3) материалы специализированных прогнозных карт и сводных обзоров, посвященные отдельным видам осадочных полезных ископаемых (уголь, горючие сланцы, медные руды, соли, россыпи, цементное сырье и т. д.).

Все это может быть эффективно использовано в качестве исходных данных при проведении поисков в ходе крупномасштабной съемки как на платформах, так и в складчатых районах. Из этих материалов съемщику будет ясно, в каких стратиграфических подразделениях и тектонических структурах изучаемого района он имеет перспективу встретить те или иные осадочные полезные ископаемые и какого они примерно качества.

В ходе полевых работ по съемке, согласно § 104, 113 и 115 «Основных положений...» [326], обязательно собирают материалы для харак-

теристики стратиграфического положения, литологического состава и фациальной принадлежности всех продуктивных, т. е. вмещающих полезные ископаемые, толщ. Устанавливаются приуроченность продуктивных толщ к тектоническим структурам, современное их распространение и степень эродированности, а также конкретные для данного района поисковые признаки полезных ископаемых. При этом толщ и пачки, вмещающие полезные ископаемые или благоприятные для них накопления, описывают детальнее, чем другие; более точно устанавливают их стратиграфическое положение и поведение в разрезе и по простиранию (взаимоотношения в почве и кровле, выдержанность, фациальные переходы и т. д.).

При подходе к оценке и качественной характеристике полезных ископаемых осадочного комплекса и определении требуемых для этого камерально-исследовательских и лабораторных работ придерживаются установок, изложенных в серии инструктивных материалов «Требования промышленности к качеству минерального сырья».

Ниже кратко коснемся основных предпосылок (критериев), наиболее важных для поисков некоторых осадочных полезных ископаемых, характерных парагенезов и наиболее ясных поисковых признаков. Многие из этих вопросов более подробно изложены в работах Е. О. Погребницкого (1967 г.), В. М. Крейтера (1969 г.) и В. И. Смирнова (1957 г.), а также в гл. IV «Методических указаний...» [271, вып. 1] и в сборнике «Теоретические основы...» [414].

Приемы полевого описания продуктивных толщ и качественные реакции на многие полезные компоненты приведены в гл. V, т. I.

В осадочных толщах платформенных регионов локализируются разнообразные твердые полезные ископаемые осадочного генезиса: угли низких степеней углефикации (бурые и переходные к каменным), торф, горючие сланцы, железные и марганцевые руды, месторождения никеля и кобальта, россыпи касситерита, титановых и вольфрамовых минералов, благородных металлов и алмаза, медные и полиметаллические руды, накопления радиоактивных элементов и редких земель, фосфаты и сера, различные соли, бокситы и огнеупорные глины, бентониты и глины для тонкой и грубой керамики, кварцевые стекольные и формовочные пески, разнообразные строительные материалы и вспомогательное сырье (гипс и известняки, мергели и доломиты, песчаники, кварциты и опоки).

Уголь и горючие сланцы. Для ископаемых углей и горючих сланцев одними из важных поисковых критериев являются стратиграфический, палеогеографический и литолого-фациальный. Должен быть учтен и структурно-тектонический критерий, особенно существенный для ископаемых углей, локализующихся в различных структурах погружения — синклиналях, грабен-синклиналях и грабенах.

Поэтому при поисках углей и горючих сланцев необходимо принимать во внимание в качестве отправных положений общие закономерности распространения этих ископаемых на территории Советского Союза по стратиграфическим подразделениям и по крупным геоструктурам и провинциям угленакопления. Такого рода закономерности по территории СССР в целом для углей (от девонских до неогеновых) обобщены в «Атласе карт угленакопления на территории СССР» и объяснительной записке к нему (ред. И. И. Горский, 1962 г.). Для отдельных регионов эти данные подробно изложены в многотомнике «Геология угольных и сланцевых месторождений СССР», т. I—XII. М., «Недра», 1962—1970 гг. При этом сводный обзор по геологии и закономерностям распространения горючих сланцев на территории СССР помещен в т. XI «Горючие сланцы СССР» (1968 г.).

В условиях платформенных регионов угленосные и сланценозные толщ, как правило, залегают почти горизонтально, обнаженность их

невелика и обычно ограничена гидрографической сетью. Первостепенное значение для поисков приобретают здесь помимо анализа буровых и геофизических данных всякого рода косвенные признаки, по которым можно судить о наличии в районе угленосных толщ и угольных или сланцевых пластов (об этом см. ниже). Породы угленосных формаций на платформах, как правило, слаболитифицированные или даже рыхлые, а угли — бурые (землистые и плотные), иногда переходные от бурых к каменным.

Материалы к поискам углей (сланцев) в слабо обнаженных платформенных районах помимо данных среднемасштабной съемки может доставить анализ данных структурного картирования в сочетании с геофизическими. Все это позволит наметить контуры угленосных (сланцевосных) структур.

Конкретные выводы будут получены при литолого-фациальном исследовании потенциально продуктивных для данного района (участка) интервалов разреза, а также при непосредственном обнаружении пластов угля и горючего сланца в керне буровых скважин либо высыпок угля (сланца) в делювии или аллювии.

Важное значение при поисках имеют литолого-фациальные признаки. Так, для угленосных отложений стабильных платформ чаще характерны серые цвета пород в сочетании с наличием углефицированных растительных остатков, фрагментов и растительной крошки. Глинисто-алевритовые породы угленосных торфяно-болотных фаций обычно имеют темные цвета и изобилуют конкрециями сидерита, а иногда — серного колчедана (пирита, марказита). Платформенные угленосные толщи нередко сопровождаются светлыми и углистыми каолиновыми огнеупорными глинами и отбеленными кварцевыми песками (песчаниками).

Распространение параллических угленосных толщ контролируется помимо структур еще и зоной периодической смены прибрежно-континентального и прибрежно-морского режима.

О закономерностях локализации угольных пластов в разрезах упоминается в разделе о фациально-циклическом анализе (т. I, гл. V). Максимальная угленасыщенность разреза обычно приурочена к средним частям тектоно-седиментационных циклов, слагающих угленосную формацию, а также к интервалам разреза, изобилующим сидеритом.

Для ископаемых углей в платформенных регионах (а отчасти и в складчатых) наиболее характерны поисковые признаки, относящиеся к одной из двух групп.

I. Фациально-литологические признаки:

1) наличие в стратиграфическом разрезе углей или пород угленосной формации с такими их характерными отличиями, как углистость и углефицированные растительные остатки, общая сероцветность (или сизоватость), иногда отбеленность;

2) наличие угольных и сажистых высыпок в аллювии, делювии, в выбросах землероев, сажистых полос, прослеживаемых на склонах над выходами пластов (иногда обнаруживаются аэровизуально либо при дешифрировании аэрофотоматериалов);

3) наличие «горелых пород» в виде коренных обожженных или ошлакованных массивов вмещающих пород, глыб или россыпи шлака на склонах бортов речных долин, где вскрывались и подвергались самовозгоранию угольные пласты.

II. Минералогические и гидрохимические признаки:

1) присутствие в коренном залегании или в высыпках аутигенных конкреционных образований, присущих угленосным фациям, таких как сидерит и анкерит, пирит и марказит (в зоне окисления нередко переходят в ярозит и лимонит);

2) выходы кислых вод железисто-глиноземисто-сульфатного состава, формирующихся при окислении осадочных сульфидов железа;

3) выходы вод бурого цвета, выносящих из буроугольных залежей золи гуминовых кислот;

4) выходы «квасцовых пород» — своеобразных сажистых продуктов выветривания колчеданистых отложений угленосных формаций (иногда колчеданистых пиритоносных сланцев), содержат алюминиево-железистые квасцы, которые иногда образуют в засушливых районах глянцевые корки на поверхности обнажений.

Горючие сланцы приурочены к лагунно-морским и реже к озерно-континентальным глинисто-алевритовым породам. Породам сланценовых формаций и пластам горючих сланцев обычно присущи высокая известковистость и наличие пелагической морской фауны (рыбы, граптолиты, аммониты). Продуктивные фации нередко содержат конкреции серного колчедана (иногда ярозитизированного или лимонитизированного), а также вторичный гипс в виде выделений по трещинам. Горючие сланцы озерно-континентального генезиса иногда ассоциируют с диатомитами (палеогеновые горючие сланцы Украины). Главными критериями для поисков горючих сланцев являются палеогеографической и стратиграфической, а поисковыми признаками продуктивных интервалов — фациально-литологические особенности сланценовых толщ.

Вопросам применения геофизических методов при поисках ископаемых углей посвящен обзор Н. Б. Дортман [271, вып. 7].

Как с углями, так и с горючими сланцами нередко связаны повышенные концентрации таких малых и рассеянных элементов, как германий, галлий (озоленных в окислительном режиме), никель, ванадий, скандий и др. Поэтому зола углей и горючих сланцев, не изученных в этом отношении, подвергают анализу на элементно-примеси (сначала спектральному, а при положительных результатах — химическому).

Железные руды платформенных осадочных толщ* представлены в основном двумя промышленными типами — седиментационными оолитовыми железными рудами сложного и переменного гидрогетит-сидерит-лептохлоритового состава (бурые железняки) и диагенетическими накоплениями сидеритовых железных руд.

Стратиграфический критерий для поисков осадочных железных руд в такой же мере важен, как и для углей, хотя рудонакопление является процессом в меньшей мере региональным в том смысле, что более подвержено воздействию местных факторов. К последним в первую очередь относится влияние на интенсивность и локализацию рудонакопления фаций и состава коренных пород в зонах, откуда происходил механический и химический снос. Наиболее благоприятными для формирования железорудных залежей обычно бывают районы, тяготеющие к ультрабазитам; последние богаты двухвалентным железом, которое в гумидной обстановке сравнительно легко освобождается из алюмосиликатов и переходит в гипергенные растворы. Поэтому при оценке перспектив на нахождение осадочных железных руд необходимо учитывать совокупность палеогеографических и петрографических критериев. Для успеха в поисках осадочных железных руд при съемке необходимо также предварительное изучение общегеологических и специальных материалов по району и смежным однотипным территориям. При этом помимо общих предпосылок рудонакопления выясняют стратиграфическую приуроченность осадочных железных руд, их типы и тенденции в их фациальной и пространственной локализации, а также присущие данному региону парагенезы пород железорудной формации, т. е. конкретные местные поисковые признаки. В наиболее общем виде они таковы.

Оолитовые бурые железняки обычно являются образованием литоральных прибрежно-морских лагунных или эстуариевых фаций, пред-

* Здесь не касаемся озерно-болотных рудных накоплений Карелии, Скандинавии и Канады, образующих четвертичную сидерит-лимонитовую рудную платформу.

ставленных мелкозернистыми песками, нередко глауконитовыми. Поэтому зона перехода прибрежно-морских фаций в континентальные отложения на платформах может рассматриваться как перспективная на бурые железняки этого типа при региональных предпосылках, таких как гумидный климат и равнинный рельеф прилегающей суши [408].

Несколько особняком стоит подтип внутриконтинентальных мелко-олитовых железняков, очень крупные запасы которых недавно обнаружены в породах верхнего палеогена Казахстана и юга Западной Сибири (месторождения Лисаковское, Лоциновское и др.). Они приурочены к аллювиальным и озерно-аллювиальным отложениям, и линзообразные сложно построенные рудные залежи (мощностью до 20—30 м, протяжением до 100 км) локализованы в пределах древних речных долин и эстуариев.

Сидеритовые диагенетические руды (такие, например, как среднеюрские присамурские сидериты Дагестана) приурочены к пелитовым осадкам фаций застойных лагун вблизи заболоченной и низкой суши. Сравнительно мало распространен подтип сидеритовых конкреционных (иногда и пластовых) руд, залегающих в угленосных формациях.

Методика полевого проведения поисков платформенных железных руд при геологической съемке вкратце складывается из следующих элементов (это в значительной мере относится и к другим осадочным полезным ископаемым).

1. Визуальное изучение (по обнажениям и керну буровых скважин) интервалов разреза, перспективных на железо по материалам предшественников, литературным данным и по совокупности поисковых критериев и признаков. При этом используются качественные реакции, описанные в гл. V, т. 1.

2. Отбор типичных образцов и проб осадочных железных руд и вмещающих пород.

3. Проведение дополнительного бурения и геофизических работ для предварительного оконтуривания рудовмещающих депрессий и качественной характеристики руд вне зоны выветривания.

При поисках платформенных железорудных месторождений, локализованных в лагунно-эстуариевых депрессиях (аятский и керченский типы) или в погребенных речных долинах (лисаковский тип), для выявления и предварительного оконтуривания руд и вмещающих их депрессий могут применяться такие геофизические методы, как электрондирование, иногда магнитометрия [271, вып. 7, гл. VIII].

Обобщенные данные по геологии, закономерностям размещения и некоторым принципам поисков осадочных железных руд изложены Н. М. Страховым [408], (1962 г.), отчасти И. Г. Магакьяном [247], С. А. Вахромеевым (1961 г.) и Е. О. Погребницким (1968 г.).

Марганцевые осадочные руды платформ представлены главнейшим по значимости типом мелководно-морских руд (верхнепалеогеновые Никопольский и Чиатурский бассейны) и двумя второстепенными: морскими марганцовистыми известняками улу-телякского типа (нижняя пермь Западного Приуралья и миоцен Приднестровья) и озерными марганцево-кобальтовыми окисными рудами (шайтантасский тип).

Для поисков марганца в еще большей мере, чем для железа, важен стратиграфический критерий. Из шести главных марганцерудных эпох, к которым на территории Советского Союза приурочены промышленные месторождения марганца (PR, E, D, C, P, F), более $\frac{3}{4}$ запасов принадлежит палеогеновой эпохе. Дальнейшая детализация направления поисков осуществляется использованием палеогеографической группы критериев, в первую очередь литолого-фациальных. Конкретное значение последних зависит от типа месторождений, распространенных в изучаемом районе.

Мелководно-морские марганценозные формации в целом сложены более тонкими осадками по сравнению с аналогичными железорудными и соответственно приурочены обычно к более удаленным от берега фациям морской литорали. Чаще всего это глины и алевроитовые глины или алевроитовые мелкие пески, иногда кремнистые. Руды обычно пластово-конкреционные, реже пластовые; рудные тела имеют сложное строение, характеризуются пространственной зональностью в составе руд: ближе к берегу локализуются первично-окисные псиломелановые и пиролюзитовые, дальше — карбонатные родохрозитовые и марганокальцитовые руды. В целом марганцерудная формация своими очертаниями отражает зональное расположение фаций сублиторали параллельно береговой линии бассейна.

Улу-телякский тип марганцевых руд (Д. П. Бобровиков, В. А. Хмелевский, 1968 г.; И. М. Варенцов, 1962 г.) представлен марганцовистыми пелитоморфными доломитистыми известняками лагунных фаций. Продуктивные горизонты (5—8 м) содержат до 5—7% марганца в форме марганокальцита (CaMnCO_3) и родохрозита (MnCO_3), благодаря чему известняки имеют розоватый оттенок. При окислении карбонаты марганца переходят в вернадит ($\text{MnO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Последний окрашивает темными пятнами поверхность обнажений и может накапливаться в щебенистой коре выветривания рудных известняков, имеющей вследствие этого бурую окраску.

Поисковые критерии для месторождений подобного типа в первую очередь литолого-фациальные: а) локализация среди хемогенных известняков периферических зон платформ, переходных к краевым прогибам; б) приуроченность к лагунным разностям доломитистых известняков, подстилаемых осадками аридного литогенетического типа — гипсами и доломитами; в) переход эвапоритово-карбонатной продуктивной толщи по латерали в карбонатные терригенные красноцветы. Поисковые признаки — розоватые оттенки марганцовистых известняков, иногда темная пятнистость их окисленных поверхностей, бурые и коричневые коры выветривания по рудоносным породам.

Озерные марганцевые месторождения невелики и сложены конкреционными окисными рудами, нередко с примесью кобальта, содержание которого вблизи массивов змеевиков может достигать нескольких процентов (асболяны). Такого типа месторождения обычно связаны с накоплениями пресноводно-озерных глинистых осадков, и они являются в сущности марганцево-кобальтовыми месторождениями. На примере Южного Урала и Центрального Казахстана намечается поисковый критерий для месторождений подобного типа: они по преимуществу локализуются вблизи серпентинитовых массивов, по которым развита кора выветривания.

Обычный и ясный общий поисковый признак на окисные марганцевые руды — темные цвета продуктивных горизонтов на выходах, обусловленные окраской водных окислов марганца. Полевые качественные реакции на марганец указаны в гл. V, т. 1.

Таким образом, поиски осадочных месторождений марганца при крупномасштабной геологической съемке последовательно слагаются из следующих крупных элементов:

а) выявление (по материалам предшественников и полевым работам) марганцерудной формации, ее стратиграфического положения, генетического типа и структурной локализации;

б) установление полевыми наблюдениями парагенетического литолого-фациального комплекса пород, присущих продуктивным фациям, в первую очередь — самого рудного горизонта и его почвы и кровли;

в) прослеживание по обнажениям и буровым скважинам продуктивного комплекса по простираанию, установление характера его фаци-

ально-геохимической зональности и отражения зональности на составе и качестве руд; систематическое опробование рудного горизонта.

Обзорные материалы по осадочным марганцевым рудам, условиям их накопления и поисковым критериям опубликованы А. Г. Бетехтиным (1946 г.), И. М. Варенцовым (1962 г.), а также Н. М. Страховым (1962 г.).

Никелевые и кобальтовые осадочные руды. Среди никелевых и кобальтовых руд осадочным типам (не говоря об океанических железо-марганцевых с кобальтом крупных конкреционных накоплениях) принадлежит скромное место, однако не исключено, что среди них будут найдены и промышленные месторождения. К такому, возможно, перспективному типу относятся, например, осадочные сульфиды железа и никеля (бравоит, миллерит) в виде конкреций в толще темных озерно-болотных углистых глин на Новоайдырлинском месторождении вблизи никеленосных серпентинитов Южного Урала (И. И. Гинзбург, 1943 г.; Д. В. Наливкин, 1943 г.). Как уже упоминалось выше, в качестве кобальтовых руд могут рассматриваться озерные асболан-вадовые богатые кобальтом накопления в глинах неогеновых озерных бассейнов у подножия ультрабазитовых массивов Шайтантас и Ешкеольмес в Улутауском районе Центрального Казахстана (Г. А. Крутов, 1952 г.).

Таким образом, для осадочных сульфидов железа и никеля новоайдырлинского типа за поисковый критерий можно считать наличие осадков озерно-болотных восстановительных фаций в непосредственной близости к выветривающимся ультрабазитам. Здесь же пространственно могут локализоваться асболан-вадовые кобальтистые накопления, но для них будут благоприятны озерные окислительные фации аридной или семиаридной климатической зоны.

Ванадиевые осадочные руды на платформах представлены бедными по содержанию, но заключающими гигантские суммарные запасы, мелководно-морскими битуминозными диктионемовыми сланцами ордовика Прибалтики. Эти сланцы содержат целую гамму элементов-примесей — ванадий, медь, молибден, никель, кобальт, — и их рассматривают как комплексные руды будущего. Поисковыми критериями для них являются раннепалеозойские сапропелитовые фации платформенного мелкоморья.

Медные осадочные руды широко известны, например, в пермских отложениях Русской платформы: в Донбассе свита медистых песчаников, в Западном Приуралье казанский и уфимский ярусы верхней перми [32]. Меденосные толщи Приуралья обычно представляют собой дельтовые и подводно-дельтовые накопления обстановок, близких к аридным, включают костные остатки тетрапод и растительные отпечатки; к лагунным темным алевролитам и аргиллитам приурочены руды, напоминающие мансфельдские.

Выделяют осадочную меднорудную формацию джезказганского типа, сложенную медистыми песчаниками и алевролитами. Она может быть разделена на два подтипа: платформенный, с месторождениями второстепенного и непромышленного значения (пермь Западного Приуралья, девон Подолии и др.), и подтип складчатых областей, представителями которого являются такие крупные месторождения, как Джезказганское (C₂—C₃) и Удоканское (PR).

В пермских отложениях приуральской части Русской платформы наблюдается пространственная зональность осадочных медных руд, которая здесь и в других регионах может быть эффективно использована как поисковый и прогнозный критерий. В Западном Приуралье к меридиональной зоне развития аллювиально-дельтовых красноцветов казанского и уфимского ярусов приурочены месторождения типа медистых песчаников. Западнее, в полосе приморских лагун того же вре-

мени, известны тонковкрапленные сульфидные медные руды типа, близкого к мансфельдскому.

Для осадочных медных и полиметаллических руд (Cu, Zn, Pb, Ag, Mo и др.) основными поисковыми критериями являются: а) стратиграфический — оруденение локализовано для крупных регионов в определенном стратиграфическом интервале (Н. М. Страхов, 1962 г.); б) палеоклиматический — осадочные руды этого генезиса приурочены к этапам аридного и семиаридного климата; в) литолого-фациальный — руды типа медистых песчаников связаны с дельтовыми песчаниками и алевролитами серых цветов, залегающими среди красноцветных терригенных формаций; микровкрапленные руды мансфельдского и близких к нему типов связаны с пелитовыми темноокрашенными доломитистыми осадками жестководных лагун сероводородных (пиритовых) геохимических фаций; они тяготеют к периферии площадей развития терригенных красноцветов.

При поисках осадочных месторождений меди в перспективных районах и толщах помимо визуального метода поисков могут быть использованы различные виды геохимических методов, такие как литохимический (Е. О. Погребицкий, 1968 г.), гидрохимический (А. А. Бродский, 1957, 1964 гг.), [271, вып. 10] или биогеохимический [252, 276, 344].

В качестве поисковых признаков медного оруденения могут быть использованы следующие.

1. Яркие зеленые и синие налеты и пленки медистых минералов на поверхности пород и аналогичные прожилки по трещинам в зоне окисления, четко проявляющиеся даже при небольших содержаниях меди.

2. Ржаво-охристая сыпь и пятна окислов железа («ржавец» приуральских рудознатцев XVIII в.), покрывающие выходы окисленных пород, содержащих рассеянные сульфиды.

3. Наличие растительных остатков либо костей позвоночных, растительного шлама и фрагментов древесины, иногда инкрустированных или даже полностью замещенных медистыми минералами.

4. Сероцветность рудоносных песчаников (алевролитов), всегда переслаивающихся с красноцветными породами при «джезказганском» типе оруденения.

5. Темноцветность и нередко битуминозность карбонатно-аргиллитовых (алевролитовых) прослоев, несущих микро- и тонковкрапленное сульфидное полиметаллическое оруденение мансфельдского типа среди толщи красноцветов либо по их периферии.

6. Повышенное содержание меди в водах источников, связанных с рудным горизонтом; нередко в водах также повышенное содержание молибдена. Последний в этих случаях может быть использован как элемент-индикатор, который легко обнаруживается чувствительной полевой реакцией (желтый осадок при действии раствора фосфата аммония в азотнокислой среде).

При опробовании и оценке рудопроявлений следует учитывать обычную для рудных горизонтов геохимическую зональность по разрезу и на площади.

Условия миграции и фациально-климатические обстановки накопления меди в зоне гипергенеза и формирования месторождений рассматривает Н. М. Страхов (1962 г.); тем же вопросам посвящены обзорные работы Д. Г. Сапожникова (1948 г.), В. С. Домарева (1949, 1959 гг.) и В. М. Попова (1956, 1964 гг.).

Платформенные осадочные бокситы представлены обычно гиббситовой (преимущественно мезозойско-кайнозойские) и гиббсит-бёмитовой (чаще палеозойские) разновидностями. Для поисков промышленных месторождений бокситов, как платформенных, так и геосинклинальных, главными критериями являются стратиграфический и литологический.

Стратиграфическая локализация бокситов и приуроченность их к определенным комплексам пород довольно хорошо выдержаны для большинства бокситоносных регионов (Русская платформа — С₁; Урал — D₂ и D₃; Тургайский прогиб — K₁—P₁₋₂). Это обстоятельство эффективно используется при поисках. Месторождения осадочных бокситов нередко соседствуют с территориями широкого развития древних кор выветривания, которые, по представлениям некоторых исследователей, являются первичным источником глинозема бокситовых залежей. И, наконец, залежи платформенных бокситов часто бывают локализованы в эрозионно-карстовых депрессиях среди карбонатных пород и в зонах контакта карбонатных и алюмосиликатных пород.

Важным поисковым критерием также является наблюдаемая на больших площадях зональность состава пород платформенных угленосных формаций, к которым иногда приурочены бокситы. Подмосковная нижнекарбовая угленосная и бокситоносная формация в плане построена так: центральную часть территории ее распространения занимают угленосные породы, она окаймляется зоной углисто-каолиновых сероцветных и пестроцветных пород с признаками бокситоносности и, наконец, краевую зону угленосной формации занимает ассоциация пестроцветных каолиновых глин с бокситами и, как правило, непромышленными углями.

Выраженный на Русской платформе в региональном масштабе критерий зональности находит отражение и на меньших площадях — в пределах групп месторождений. Бокситовые линзы и пластообразные залежи, отложенные в озерно-болотных бассейнах, обычно тяготеют к периферии и нижним горизонтам угленосных формаций. Наибольшую выраженность бокситонакопление имеет вблизи контакта продуктивной толщи с карбонатным субстратом (литологическая предпосылка промыленного бокситонакопления).

Когда в районе геологической съемки по материалам предшественников и полевым наблюдениям отмечены признаки бокситоносности, устанавливаются положение бокситорудной формации в основном разрезе и присущие ей парагенезы пород. Далее выявляют закономерности пространственной локализации бокситорудной формации — приуроченность ее к определенным тектоническим структурам и геоморфологическим элементам, древним и современным. Все эти показатели — стратиграфический, литологический, структурно-тектонический и геоморфологический — и будут определять совокупность конкретных для данного района поисковых признаков на бокситы.

Из общих поисковых признаков помимо прямых бокситопроявлений в коренном залегании и высыпок бокситовых пород в делювии и аллювии важным признаком для платформенных регионов является частая парагенетическая ассоциация бокситов с каолиновыми породами — светлыми, пестро-красными, углистыми непластичными и слабопластичными глинами. По этому признаку Г. И. Бушинским (1959 г.) выделен распространенный генетический тип бокситоносных формаций — углисто-каолиново-бокситовый.

В ходе поисковых работ на бокситы помимо непосредственного изучения бокситов в выходах и керне скважин наиболее применимы следующие методы.

Валунный. При этом ведут точный учет и характеристику всех находок боксита во вторичном залегании в виде высыпок на склонах, элювиального и делювиального глыбового развала, галек и аллювия. В сомнительных случаях для точной диагностики применяют цветную качественную реакцию на свободный глинозем (см. гл. V, т. 1). По морфологическим признакам, вещественному составу и элементам-примесям устанавливают принадлежность бокситов, встреченных во вторичном

залегании, к одной или разным бокситорудным формациям и соответственно определяют направление поисков.

Геоморфологический. Геоморфологическим анализом устанавливают приуроченность перспективных по бокситоносности участков к определенным геоморфологическим элементам; для таких регионов, как Центральный Казахстан и Сибирская платформа, этот метод дает положительные результаты (С. А. Сладкопевцев, 1961 г.; Б. А. Тюрин, 1956 г. и др.).

Геофизический. Геофизическими методами обнаруживают и прослеживают не выходящие на поверхность бокситорудные залежи либо оконтуривают потенциально бокситоносные депрессии, применяя магниторазведку, электроразведку, сейсмические методы или гравиметрию [271, вып. 7].

Структурно-тектонический анализ. Используя аэрофотоматериалы, аэровизуальные наблюдения и материалы предшественников, устанавливают связь между распределением бокситоносных депрессий и тектоническими структурами района. Нередко такую связь удаётся подметить; например, в Центральном Казахстане сформированные в карбонатных породах бокситоносные депрессии локализируются вдоль крупных разломов и тектонических контактов терригенных и карбонатных пород, в крыльях антиклинальных структур, сложенных карбонатными породами, и т. д. (Б. А. Тюрин, 1956 г. и др.).

Обзорные данные по бокситам и методические материалы к их поискам опубликованы А. Н. Петровской (1962 г.), А. Н. Петровской, Ю. К. Горецким и В. Н. Карюкиной (1948 г.), Г. И. Бушинским [61], Ю. К. Горецким [116], А. И. Кривцовым (1968 г.).

Платформенные фосфориты представлены двумя основными типами месторождений: широко известным типом желваковых диагенетических фосфоритов и мало распространенным, но важным типом зернисто-ракушечниковых фосфоритов (оболовые фосфориты ордовика Прибалтики и Восточной Сибири).

Проверенными практикой поисковыми критериями на фосфориты являются следующие:

а) стратиграфические — в пределах геологических регионов фосфоритоносность локализуется в определенных стратиграфических горизонтах; наиболее фосфатоносными на территории Советского Союза являются, по Б. М. Гиммельфарбу (1956 г.), отложения кембрийской системы ($1/3$ запасов) и верхнего мезозоя ($J_3 + K$ — более $1/2$ запасов);

б) литолого-палеогеографические — платформенные желваковые фосфориты обычно формируются в осадках морской литорали, ближе к внешней зоне приконтинентального шельфа. На основании частой приуроченности фосфоритов к глауконитовым породам конкреционные платформенные фосфориты отнесены (Н. С. Шатский, 1955 г.) в группу глауконитовых фосфатоносных формаций (верхнеюрские фосфаты Поволжья, сеноманские фосфориты более западных районов Русской платформы и многие другие); этот парагенез справедлив и для фосфоритов ракушечникового типа.

Поисковый признак на платформенные фосфориты — россыпь и отдельные характерные гальки желваковых фосфоритов (или фосфатизированных ракушек) либо находки фосфатных прослоев в коренном залегании. Поэтому такого рода гальки или обломки ракушек, встречающиеся на склонах оврагов и в аллювии, опробуются на фосфор чувствительной реакцией с молибденовокислым аммонием (см. т. 1, гл. V, раздел о фосфатных породах). При этом объектами поисков фосфоритовых залежей в первую очередь должны быть глауконитовые породы прибрежно-морских фаций. Принципы методики опробования желваковых и ракушечных фосфоритов изложены в т. 1, гл. V (более подробно см. в работе Е. О. Погребницкого, 1968 г.).

Обзорные публикации по осадочным фосфатам принадлежат И. Г. Бушинскому [58, 59], Б. М. Гиммельфарбу (1956, 1962, 1965 гг.), Е. В. Орловой (1951 г.), П. М. Татарину (1963, 1969 гг.).

Соляные накопления (эвапориты) широко известны в аридных палеоклиматических зонах. Для них установлены такие достаточно достоверные поисковые критерии.

1. Стратиграфический. Соленосные толщи и залежи солей в них всегда приурочены (для данного региона) к четко выдержанному стратиграфическому интервалу.

2. Литолого-фациальный. Соленосные толщи представляют собой накопления приморских лагун или внутриконтинентальных озерных водоемов аридного климата. Соответственно перспективной для поисков бывает фациальная зона приморских лагун или низменная область плоских озерных депрессий. Продуктивная формация, как правило, сложена парагенезом известково-доломитово-глинистых пород с гипсом и ангидритом, включающих соли в виде пластов, линз или конкреций (обзор соляных пород и их полевых признаков см. в т. 1, гл. V).

3. Структурно-тектонический. Формирование соленосных толщ обычно совпадает с фазами завершения тектоно-седиментационных циклов, выравнивания рельефа и развития мелководных водоемов, на дне которых отлагаются тонкодисперсные илы и соли. Наиболее мощные соленосные толщи и соляные пласты локализуются в структурах устойчивого прогибания — синеклизах и краевых прогибах платформ (Прикаспийская синеклиза, Предуральский краевой прогиб и т. д.). Здесь они могут давать своеобразные солянокупольные структуры мощностью до 3 км. Поисковые признаки на соль следующие:

а) выходы на поверхность солей и соленосных доломитистых и загипсованных пород; соляные выцветы и корки на поверхности обнажений или по берегам водоемов;

б) наличие соляных источников или подземных вод, а также поверхностных вод (озера) с аномально высокой минерализацией.

При поисках солей наиболее широко применяются гидрохимический и геофизические методы.

Гидрохимический метод заключается в систематическом учете степени минерализации и ионного состава поверхностных и подземных вод путем отбора проб, анализируемых в полевой или стационарной лаборатории (А. А. Резников и др., 1963 г.). При этом особое внимание следует уделять закономерностям распространения в водах, связанных с соленосными толщами, таких практически важных компонентов, как калий (М. Г. Валяшко, 1966 г.; С. М. Корневский, 1965 г.) и бор (М. Г. Валяшко, 1969 г.; С. Р. Крайнов, 1964 г.), а также бром и йод.

Геофизические поиски основаны на том, что мощные соляные тела типа соляных куполов, нередко формирующихся в регионах длительного регионального прогибания (Припятская, Днепровско-Донецкая и Хатангская впадины, Вилюйская синеклиза и др.), отчетливо фиксируются на глубине гравиметрическим и сейсмическим методами (А. Я. Дубинский, Н. В. Неволин, 1963 г.; Э. Э. Фотиади, 1948 г. и др.).

Руководствами общеметодического характера по поискам и оценке соляных накоплений могут служить работы А. И. Дзенс-Литовского (1965 г.), А. А. Иванова (1963 г.), П. М. Татарина (1969 г.), М. П. Фивега (1967 г.).

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ОСАДОЧНОГО ГЕНЕЗИСА В СКЛАДЧАТЫХ РАЙОНАХ

При проведении поисков в складчатых районах надо иметь в виду геологические особенности, определяющие известную специфику поисков и оценки полезных ископаемых. К тому, что было сказано выше

о поисковых критериях и признаках, здесь можно добавить следующее. В складчатых областях на залежи полезных ископаемых нередко оказывает значительное влияние тектоника. Под воздействием складчатости и разрывных дислокаций (с последующей денудацией) может измениться первоначальная форма рудных тел. Совместное влияние складчатости и магматизма (а порой и гидротермальных процессов) меняет первичный состав руд. Осадочные полезные ископаемые при высокой степени их метаморфизма переходят в разряд метаморфогенных (бокситы — в наждаки, лептохлориты — в джеспилиты, каменные угли — в графиты и т. д.), с существенно иными свойствами, морфологией и поисковыми признаками.

Особенности процессов осадконакопления в тектонически активных складчатых областях, где седиментация протекает быстро и нередко сопровождается наземным и подводным вулканизмом, определяют и типы осадочных месторождений в складчатых областях. Здесь отсутствуют некоторые, присущие только платформам, комплексы осадочных полезных ископаемых и могут быть другие, которых нет на платформах. Так, например, в складчатых областях не фиксируется региональных кор выветривания и нет связанных с ними типов бокситовых месторождений, а также каолиновых глин и кварцевых песков. Зато здесь встречаем своеобразный по локализации, морфологии и составу тип месторождений геосинклинальных бокситов, марганценовые кварциты и яшмы, а также пластовые фосфориты, которые неизвестны на платформах. И, наконец, в тектонически активных складчатых областях приуроченность осадочных полезных ископаемых к тектоническим структурам и зависимость их состава от типа структур обычно выражены отчетливее, чем на платформах.

Кратко перечислим для основных видов полезных ископаемых некоторые отличия, которые необходимо учитывать при поисках в складчатых областях.

Ископаемые угли. К складчатым регионам приурочены крупные угольные бассейны. Мощные (до 8—10 км) угленосные формации таких регионов (Донбасс, Кузбасс, Печорский и Карагандинский бассейны) включают десятки угольных пластов; угли здесь представлены широкой гаммой марок: от бурых — переходных к каменным — до антрацитов, включая наиболее дефицитные коксовые. В отличие от плохо обнаженных платформенных бассейнов угленосные формации складчатых областей обнажаются удовлетворительно. Их пласты, будучи сложными сравнительно устойчивыми против выветривания каменными углями, нередко выходят к дневной поверхности и дают обильные угольные высылки и сажу. Угольные месторождения и бассейны складчатых областей поэтому обычно могут быть довольно хорошо предварительно оценены при картировании как по масштабам, так и по качеству, с применением неглубоких горных выработок и скважин, вскрывающих пласты под почвенным покровом или рыхлыми наносами. Горючие сланцы для складчатых областей Советского Союза менее характерны.

Осадочные железные руды складчатых районов в своем распространении также подчинены стратиграфическому и фациальному контролю; однако здесь более отчетливо, чем на платформах, проявляется структурная локализация рудных накоплений. Руды складчатых районов обычно несут признаки некоторого метаморфизма, который проявляется в их уплотнении и обезвоживании гидроокислов железа, с сохранением оолитовой структуры. Соответственно состав руд чаще бывает лептохлорито-гематитовый и гидрогематитовый, сидеритовый, с развитаем бурых железняков в зонах окисления.

Марганцевые руды складчатых областей, также подчиняясь структурно-фациальной зональности, нередко ассоциируют с кремнистыми, карбонатно-кремнистыми и карбонатными породами.

Ванадиевые осадочные руды складчатых районов представлены весьма важным типом черных углисто-глинистых и кремнистых ванадиеносных сланцев кембрийского возраста в Казахстане и генетически сходными с ними пермскими сланцами в США. Те и другие руды по составу являются комплексными (ванадий, молибден), а продуктивные толщи нередко имеют региональное развитие. При поисках оправдал себя фациально-стратиграфический критерий: накопление ванадия связано с формированием глинистых фосфатоносных морских осадков при участии планктонных организмов, концентрирующих ряд малых элементов. Прямой поисковый признак — приуроченность оруденения к черным углистым (и битуминозным) пелитолитам, часто имеющим в зоне выветривания пятнистые выцветы вторичных яркоокрашенных зеленоватых и желтых ванадатов сложного состава (роскоэлит, карнотит, ванадинит и др.). Для такого рода образований целесообразно выполнять полевые качественные реакции на основные элементы — ванадий, молибден и нередко сопутствующий фосфор (см. гл. V, т. 1).

Медистые песчаники складчатых областей нередко приобретают промышленное значение за счет вторичного обогащения под действием гидротерм, проникающих по разломам в антиклинальных структурах. Поэтому, как считает ряд исследователей, структурно-тектонический признак в районах развития медистых песчаников имеет решающее значение для поисков среди них крупных промышленных медных месторождений джезказганского типа.

Комплексные руды мансфельдского типа (медь, свинец, цинк, молибден и серебро) связаны с темными мергелистыми битуминозными сланцами (в Мансфельде с остатками рыб и веточками хвойных). Отложены они в застойных сероводородных мелководных лагунах, где в обстановке аридного климата накапливались сапропелитово-доломито-известковые глинистые илы с тонкорассеянными сульфидами тяжелых металлов. Поэтому поисковыми критериями для руд такого типа помимо стратиграфического являются фациальный и литологический. Продуктивна зона приморских лагун в глинисто-карбонатных жестководных литофациях, обогащенных органическим материалом и, как правило, смежных с территориями развития карбонатных терригенных красноцветов. Поскольку руды являются тонковкрапленными, они даже при высоком суммарном содержании полезных компонентов обычно практически не отличаются по виду от слабоуглистых аргиллитов. Вследствие этого необходима постоянная проверка пород на рудоносность мансфельдского типа полевыми реакциями, в первую очередь на медь (зеленое окрашивание пламени) и молибден (фосфорнокислым аммонием в азотной кислоте).

В складчатых регионах встречаются геосинклинальные месторождения бокситов. Наиболее ярким примером последних является группа промышленных девонских месторождений Красная Шапочка, Черемуховское и другие в бокситоносной полосе нижнего палеозоя восточного склона Северного Урала. Подобно платформенным, бокситы геосинклинального типа распространены регионально, а залежи их приурочены к поверхности перерыва в известняковых или доломито-известняковых толщах. Геосинклинальные бокситы имеют бёмит-диаспоровый состав и ассоциируют с железистыми хлоритами (шамозитом), пиритом и гематитом, в верхних надрудных горизонтах — с малопластичными каолиновыми глинами (кровля бокситового пласта).

Продуктивная толща (до 30 м) контактирует с подстилающими известняками по очень неровной закарстованной поверхности, причем в бокситах нередко включения подстилающего известняка. Верхняя граница бокситорудной толщи с перекрывающими ее известняками ровная и резко выраженная. Бокситорудная толща этого типа сформирована

в этап регрессии моря в обстановке лагунного морского побережья, и бокситы являются нормальным химическим осадком.

Для постановки и проведения поисков геосинклинальных бокситов целесообразно учитывать критерии: а) стратиграфический — бокситонакопление в каждом регионе локализовано в строго определенных стратиграфических интервалах; б) литологический — продуктивный комплекс залегает на закарстованной поверхности карбонатной толщи и обычно перекрывается карбонатными же породами более молодого возраста.

При поисках эффективно используется прослеживание по простиранию зоны перерыва между разновозрастными карбонатными толщами, а также высыпок морфологически характерных бокситовых пород и их спутников — лептохлоритов, пирита и гематита. Для некоторых месторождений при поисках положительные результаты дает применение магнитометрии [187].

Фосфоритовые залежи геосинклинального типа (кембрийские отложения Каратау, пермские Скалистых гор США, палеогеновые Северной Африки) имеют пластовый характер и залегают среди морских отложений пелагических фаций. Продуктивные толщи сильно дислоцированы, имеют ясно выраженную линейную протяженность в плане и представлены кремнистыми и кремнисто-карбонатными, нередко фосфористыми породами. Они заключают от 2 до 11 пластов массивного, чаще темного фосфорита с оолитовой и микроолитовой или тонкослоистой структурой.

При поисковых работах на геосинклинальные фосфориты широко используют стратиграфический и литологический критерии, прослеживая по простиранию продуктивную толщу, с эталонной коллекцией фосфоритов и постоянным полевым опробованием пород на фосфор чувствительной реакцией с молибденово-кислым аммонием (см. т. 1, гл. V). Для поисков геосинклинальных фосфоритов применим также гамма-спектрометрический метод, основанный на часто наблюдаемой некоторой обогащенности этих фосфатных накоплений ураном [271, вып. 7].

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЭНДОГЕННОГО ГЕНЕЗИСА

Эндогенным процессам обязаны своим формированием многочисленные месторождения почти всех используемых промышленностью металлов и многих видов нерудного сырья, чрезвычайно разнообразные как по составу, формам и условиям залегания, так и по особенностям процессов образования. Объединяет их генетическая связь с магматической деятельностью во всем многообразии ее проявлений, в свою очередь тесно взаимосвязанной с крупными тектоническими движениями, приводящими к образованию складок и разрывных нарушений в земной коре. Этим обусловлено преимущественное распространение полезных ископаемых эндогенного генезиса в складчатых образованиях, главным образом в зонах или поясах интенсивной складчатости. Реже эндогенные месторождения локализуются в слабо дислоцированных осадочных отложениях.

Полезные ископаемые эндогенного (магматогенного) генезиса, относящиеся к разным генетическим группам, различно располагаются в пространстве по отношению к магматическим породам. Так, магматические месторождения хромитов, титаномагнетитов, медно-никелевых руд, апатитов пространственно тесно связаны с массивными определенными разновидностями ультраосновных, основных, щелочных пород; контактово-метасоматические железорудные, молибденовые, вольфрамовые, полиметаллические и другие месторождения локализуются на контактах гранитоидных интрузивов преимущественно с осадочными карбонат-

ными и эффузивными породами; гидротермальные месторождения располагаются как в интрузивных массивах (меднопорфировые руды и различные жильные месторождения в гранитоидах, асбестовые и другие — в ультраосновных породах), так и во вмещающих их породах в зоне контакта и в различном, иногда значительном, удалении от него. В последнем случае особенно важное значение для поисков приобретают дизъюнктивные нарушения (тектонические критерии) и благоприятные для рудоотложения в силу особенностей химического состава или физических свойств разновидности пород (литологические критерии).

Прямыми признаками твердых полезных ископаемых любого генезиса являются сами полезные ископаемые, обнаруженные в коренном залегании, в виде валунов, свалов, галек, а также мелких обломков и минеральных зерен в тяжелой фракции рыхлых отложений или протолочек коренных пород. Для полезных ископаемых эндогенного генезиса специфическим поисковым признаком являются гипогенные изменения пород, происходящие в результате пневматолитовых, контактово-метасоматических и гидротермальных процессов, а также в процессе регионального или контактового метаморфизма.

Перечисленные процессы всегда изменяют минеральный состав и структуру горных пород, подвергающихся их воздействию, но далеко не всегда сопровождаются оруденением и приводят к формированию месторождений полезных ископаемых. И в тех случаях, когда среди измененных пород залегают полезные ископаемые, оруденение часто оказывается более поздним по отношению к процессам изменения пород, наложенным на уже измененные породы. Следовательно, часто употребляющийся термин «околорудные изменения» можно обоснованно применять для обозначения гипогенных изменений пород лишь в отдельных конкретных случаях. В качестве общих терминов наиболее удобны названия генетических групп измененных пород (контактово-метасоматические, гидротермальные) и названия их разновидностей (скарны, грейзены, пропилиты и т. д.).

Значение гипогенных изменений пород как поискового признака в некоторых отношениях недостаточно определено, что обусловлено многочисленностью изменчивых факторов, взаимодействие которых определяет состав и структуру конечного продукта изменения породы. К наиболее существенным из таких факторов относятся: состав и физические свойства подвергающейся изменению породы; состав и характер воздействующих на нее растворов; температура, давление, длительность процесса и др.

Некоторые виды измененных пород довольно определенно указывают на процесс изменения и лишь приближенно — на вероятный состав исходной породы. Например, скарны образуются в результате контактово-метасоматического процесса за счет главным образом карбонатных пород и вулканогенных пород кислого состава; грейзены обычно являются результатом воздействия высокотемпературных гидротермальных растворов на магматические и реже осадочные породы кислого состава; пропилиты образуются при воздействии среднетемпературных гидротермальных растворов на магматические (чаще всего вулканогенные) породы среднего и основного состава.

Затруднительно судить по характеру изменения пород, какое полезное ископаемое можно ожидать в пределах данного участка. Так, в скарнах встречаются месторождения железа, вольфрама, молибдена, бора, свинца и цинка, олова, меди и др.; в связи с грейзенами — месторождения олова, вольфрама, молибдена, бериллия, золота и др.; в связи с пропилитами — месторождения меди, свинца и цинка, золота и серебра, алунита и других полезных ископаемых.

Очевидно, сам факт наличия изменений пород свидетельствует однозначно о том, что здесь имели место эндогенные процессы, в резуль-

тате которых могли сформироваться месторождения полезных ископаемых, причем характер изменения указывает на возможность образования полезных ископаемых более или менее определенной, но довольно большой группы. Для уточнения прогноза на полезные ископаемые все обнаруженные измененные породы необходимо опробовать с целью минералогического и геохимического изучения, а при оценке их поисковой значимости и разработке рекомендаций по детальному изучению учитывать конкретную геологическую обстановку участка, положение его в региональных структурах, имеющиеся данные о металлогении района и другую информацию, имеющую отношение к полезным ископаемым.

Поиски эндогенных полезных ископаемых наиболее широко ведутся в складчатых более или менее открытых (обнаженных) районах на уровне эрозионного среза, и лишь сравнительно недавно стали развиваться поисковые работы с целью обнаружения глубоко залегающих месторождений как в открытых складчатых районах, так и в закрытых районах двух- и трехъярусного строения.

Здесь нет необходимости строго придерживаться принятой в «Основных положениях организации и производства геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000» классификации районов по ярусности. С точки зрения методики поисков эндогенных месторождений решающее значение имеют не только принадлежность района к одному из семи типов по ярусности, но и вид полезных ископаемых, минимальные размеры промышленных месторождений, заданная глубина изучения района (от поверхности). Из числа районов, где необходимо проводить поиски эндогенных полезных ископаемых, безусловно исключаются лишь районы первого типа, сложенные на всю глубину изучения осадочными четвертичными отложениями.

Таким образом, специализация поисковых работ на полезные ископаемые эндогенного генезиса в основном определяется, с одной стороны, главными для данного района полезными ископаемыми и заданной глубиной изучения и, с другой стороны, принадлежностью его к одноярусным (открытым) или двух- и трехъярусным районам. В рамках одного из разделов «Методического руководства» невозможно рассмотреть множество вариантов специализации поисковых работ в районах производства геологической съемки масштаба 1 : 50 000, чрезвычайно многообразных как по особенностям геологического строения и природных условий, так и по комплексам полезных ископаемых. Поэтому ограничимся обобщенной принципиальной характеристикой поисковых работ, специализированных на месторождения некоторых наиболее важных видов полезных ископаемых, с подразделением на вскрытые эрозионным срезом и глубоко залегающие.

Месторождения, вскрытые эрозионным срезом

Во всех одноярусных районах, перспективных на полезные ископаемые эндогенного генезиса, наряду с предшествующими геологосъемочным работам аэрогеофизическими съемками обязательно применяются три метода поисков: дешифрирование аэрофотоснимков, аэровизуальные и наземные геологические наблюдения и геохимические съемки. Названные методы исследований применяются на всей подлежащей изучению площади.

Дешифрирование аэрофотоснимков и геологические аэровизуальные и наземные наблюдения позволяют выявить как поисковые критерии, так и прямые или косвенные признаки практически всех видов полезных ископаемых эндогенного генезиса. Наиболее легко обнаруживаются признаки сульфидных месторождений, а также гидротермальных

месторождений иного состава — железные шляпы, кварцевые и другие жилообразные тела, гидротермально измененные породы, отличающиеся по окраске и минеральному составу от вмещающих горных пород. В то же время дешифрирование аэрофотоснимков и аэровизуальные наблюдения дают ценную информацию для составления или уточнения схемы районирования изучаемой площади по условиям применения других методов поисков.

Наиболее целесообразные методы геохимических поисков (опробование природных вод, речных осадков, элювиально-делювиальных образований, коренных пород, растительного покрова) и их сочетания определяются в зависимости от особенностей природных условий изучаемого района, а их специализация на определенные полезные ископаемые выражается в выборе метода анализа проб, обладающего достаточной чувствительностью, при удовлетворительной производительности, на химические элементы, являющиеся компонентами главных для данного района полезных ископаемых. Другим аспектом специализации геохимических съемок является выбор сети опробования, обеспечивающей выявление тел полезных ископаемых заданного (обоснованного в проекте работ) минимального размера. В принципе для районов, перспективных на жильные (золото, олово и т. п.) и другие месторождения небольших размеров, сеть опробования должна быть сгущена, а для районов, перспективных на крупные (прожилково-вкрапленные, штокверковые и др.) месторождения, — разрежена по сравнению с сетью опробования, предусмотренной инструкцией по геохимическим поискам для геохимических съемок соответствующего масштаба.

К числу методов поисков, менее универсальных по сравнению с вышеупомянутыми, относятся шлиховой и геофизические.

Шлиховые съемки обязательно проводятся в районах, перспективных на месторождения минералов, устойчивых против воздействия агентов выветривания, таких как золото, платиноиды, касситерит, минералы вольфрама, алмазы, тантало-ниобаты и др. Как правило, шлиховое опробование так или иначе сочетается с геохимическим опробованием, причем относительная эффективность того и другого метода зависит от природных условий района и распространения в его пределах полезных ископаемых. Шлиховое опробование является ведущим методом поисков по сравнению с геохимическими методами в районах с расчлененным рельефом и хорошо развитой речной сетью, а также и в других районах, перспективных на полезные ископаемые (алмазы, платиноиды и некоторые другие), для которых еще не выявлены надлежащие геохимические индикаторы. В то же время в районах со слабо расчлененным рельефом, а также в районах, перспективных на сульфидные месторождения, ведущая роль обычно принадлежит геохимическим методам, а шлиховое опробование целесообразно применять в ограниченных объемах с целью получения минералогических данных для интерпретации геохимических аномалий.

Геофизические методы исследований, включающие радиометрию, магниторазведку, электроразведку, гравиразведку, сейсморазведку, оказывают существенную помощь в решении многих геологических задач, в том числе в выявлении и прослеживании элементов геологического строения, благоприятных для локализации полезных ископаемых. Различные геофизические методы обычно применяются при детальном поисках в пределах перспективных участков с целью получения информации о полезных ископаемых на некоторой глубине от земной поверхности.

Можно различать три вида поисковых задач, решаемых с помощью геофизических методов: 1) проверка геохимических аномалий; 2) детализация аномалий физических полей, выявленных аэрогеофизической съемкой; 3) поиски на участках перспективных геологических структур.

тур, перекрытых четвертичными отложениями, исключаящими эффективное применение геохимических методов (например, мощные дальнепринесенные отложения).

Специализация поисковых работ в отношении разновидностей и комплексов применяемых геофизических методов определяется прежде всего физическими свойствами искомого полезного ископаемого, а в ряде случаев также и особенностями геологического строения и природных условий изучаемого участка. Из природных условий существенное значение для некоторых геофизических методов (вариометрия, электроразведка) имеют рельеф дневной поверхности и поверхность коренных пород, а также мощность, состав и характер обводненности рыхлых отложений. Учет названных факторов необходим для корректировки результатов измерений физических полей, что влечет за собою необходимость выполнения вспомогательных работ, таких как бурение скважин для изучения рыхлых отложений и гидрогеологических наблюдений или электроразведание для определения мощности рыхлых отложений.

Из полезных ископаемых эндогенного генезиса достаточно эффективно обнаруживаются геофизическими методами железные руды, хромиты, сульфидные руды и упоминавшиеся ранее радиоактивные руды. Следовательно, перспективность района (или отдельных участков, по тем или иным признакам заслуживающих детального изучения) на полезные ископаемые одной из указанных групп и определяет выбор геофизических методов поисков.

При поисках магнитных железных руд (контактово-метасоматические магнетитовые, магматические титаномагнетитовые месторождения) ведущим методом является магниторазведка, при поисках гематитовых руд и хромитов — гравиразведка (вариометрия или градиентометрия). С помощью высокочувствительной и точной магнитной съемки могут также обнаруживаться месторождения асбеста и других полезных ископаемых, содержащих магнитные минералы (магнетит, пирротин). При поисках сульфидных руд, в особенности руд, богатых пиритом, халькопиритом, пирротинном, ведущим методом является электроразведка: методы вызванной поляризации, естественного потенциала, сопротивлений.

Обязательным завершающим видом поисковых работ во всех случаях является проходка горных выработок или буровых скважин, без чего невозможно дать уверенную интерпретацию аномалий физических полей и оценку проявлений полезных ископаемых.

Глубоко залегающие месторождения

К глубоко залегающим месторождениям в одноярусных (открытых) и двух- и трехъярусных (закрытых) районах относятся месторождения полезных ископаемых, не вскрытые эрозионным срезом или перекрытые мощными рыхлыми отложениями, вследствие чего на поверхности отсутствуют их геохимические и геологические признаки, включая и такой косвенный признак, как гидротермальные изменения пород (в открытых районах). Естественно, такие методы исследований, как дешифрирование аэрофотоснимков, геологические наблюдения, геохимические и шлиховые съемки, даже в открытых районах позволяют выявить только поисковые критерии глубоко залегающих эндогенных месторождений полезных ископаемых, т. е. благоприятные для их локализации геологические структуры. В закрытых же районах из перечисленных методов только дешифрирование аэрофотоснимков может в некоторых случаях быть полезным при выявлении тектонических структур, тогда как основную информацию о геологическом строении и полезных ископаемых изучаемого района доставляют геофизические исследования и картировочное бурение.

Таким образом, различия поисков глубоко залегающих месторождений полезных ископаемых эндогенного генезиса в открытых и закрытых районах выражаются главным образом в комплексах методов исследований, обеспечивающих выявление перспективных участков — тектонических структур, интрузивных тел и надинтрузивных зон, а в их пределах — разновидностей вулканогенных и осадочных пород, благоприятных для рудоотложения. Прямые же поиски полезных ископаемых в пределах перспективных участков до заданных глубин в открытых и закрытых районах не имеют принципиальных различий. В том и другом случае их основой являются наземные геофизические и буровые работы, а специализация на определенные полезные ископаемые выражается в выборе метода геофизических исследований, обеспечивающего обнаружение аномалий соответствующих физических полей до заданной глубины, и комплекса скважинных исследований, включающего литолого-петрографическое и геохимическое изучение горных пород и один или несколько видов каротажа.

Надо сказать, что задачи геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 в отношении глубоко залегающих полезных ископаемых обычно ограничиваются выявлением перспективных участков, а трудоемкие и дорогостоящие детальные поисковые работы выполняются специальными поисковыми или геологоразведочными партиями. Необходимо лишь подчеркнуть, что в процессе геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 все картировочные, поисковые и другие буровые скважины, пройденные на изучаемой площади, должны со всей возможной полнотой исследоваться с целью получения информации о полезных ископаемых наряду с информацией о геологическом строении.

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Полезные ископаемые кор выветривания (элювиальные, остаточные) образуются в результате изменения горных пород многообразными процессами выветривания (элювиогенез) и скопления продуктов их изменения на месте своего образования.

Как отмечалось в гл. XII (т. 1), в фанерозое установлены два основных цикла корообразования (палеозойский и мезозойско-кайнозойский), которые приурочены соответственно к поверхностям фундаментов древних и молодых платформ. Это — крупные металлогенические этапы кор выветривания.

Для металлогении кор выветривания характерен типоморфизм, обуславливающий строгую ее специализацию. Например, руды силикатного никеля и кобальта связаны с элювием ультраосновных пород только дунит-перидотитовой магмы, высококачественные первичные каолины — главным образом с элювием пород кислого, иногда среднего состава, элювиальные бокситы — с элювием пород основного состава и т. д.

Таким образом, можно говорить об особой элювиальной металлогении, проявляющейся в определенные этапы геологического развития крупных структур литосферы. Для щитов и фундаментов плит древних платформ характерны крупные месторождения так называемых богатых мармитовых руд по железистым кварцитам, известны также марганцевые руды по марганцовистым сланцам, элювиальные россыпи тантала, ниобия и других редких металлов по редкометальным пегматитам и карбонатитам, вермикулиты по ослюденелым породам — гипербазитам, кислым и другим породам, руды силикатного никеля и кобальта по серпентинитам, первичные каолины по гранитоидам и порфирам, элювиальные бокситы по амфиболитам, метаморфическим сланцам и другим породам.

Металлогения кор выветривания складчатых поясов, состоящих преимущественно из палеозойских комплексов, отличается своеобразием. Отмечается, в частности, отсутствие месторождений маритовых руд. В то же время известны многочисленные месторождения руд силикатного никеля и кобальта, железных и марганцевых «шляп», элювиальных россыпей различных редких и редкоземельных металлов, первичных каолинов, вермикулитов, эпигенетических урановых руд и др. Для покровного комплекса древних платформ можно упомянуть элювиальные россыпи алмаза по кимберлитам, элювиальные бокситопоявления по траппам и др.

Различные виды элювиальных полезных ископаемых строго приурочены к определенным литологическим горизонтам тех или иных типоморфных кор выветривания. Эта зависимость показана в табл. 9. При этом одни полезные ископаемые связаны только с каким-либо одним, другие — с двумя, третьи — с несколькими горизонтами. По способам концентрации и образования полезных минеральных и химических компонентов можно выделить следующие типы полезных ископаемых кор выветривания: 1) гипергенные метасоматические, 2) сорбционные, 3) россыпи элювиальные, 4) секреторные, 5) окисления и инфильтрации, 6) выщелачивания, 7) эпигенетические, 8) инфильтрационно-карстовые. Примеры этих генетических типов полезных ископаемых также отмечены в табл. 9.

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ, СВЯЗАННЫЕ С ЧЕТВЕРТИЧНЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

С четвертичными отложениями связаны большинство россыпных месторождений, песчано-гравийные месторождения, месторождения торфа, сапропеля, глин и суглинков, минеральных солей. Поиски этих месторождений неразрывно связаны с геоморфологическими исследованиями, главная цель которых состоит в выявлении и изучении тех особенностей рельефа, коррелятных отложений и геоморфологических процессов, которые прямо или косвенно могут указать на возможность открытия того или иного месторождения. Для этого изучаются, во-первых, генетические связи полезных ископаемых с геоморфологическими процессами и, во-вторых, отражение в рельефе тех элементов геологического строения, которые определяют локализацию полезных ископаемых. Такие исследования дают возможность судить об общих условиях образования полезного ископаемого и помогают выявить конкретные признаки его месторождений. Некоторые виды геоморфологических исследований помогают также поискам месторождений, непосредственно не связанных с рельефом и коррелятными ему отложениями.

Россыпи. Они представляют собой месторождения ценных тяжелых минералов, связанные с четвертичными отложениями различных генетических типов. При большом разнообразии россыпей в каждой из них выделяются три основных элемента: плотик — поверхность коренных пород; пески — продуктивные отложения (пласты); торфа — перекрывающие отложения. Продуктивные пласты могут быть простыми или сложными, разделенными пропластками отложений с непромышленным содержанием полезных минералов. Существует несколько классификаций россыпей. Наиболее распространенная классификация А. П. Божинского, основанная на плотности ценных минералов, их минимальном промышленном содержании в песках и генезисе отложений, включает четыре группы россыпей.

1. Россыпи золота и минералов группы платины с плотностью 12—13 г/см³ и содержаниями в сотни миллиграммов на 1 м³, связанные главным образом с аллювиальными отложениями.

Полезные ископаемые, связанные с корами выветривания
(их генетические типы и погоризонтное размещение)

Исходные породы — источники полезных минеральных (рудных) компонентов	Горизонты (зоны) кор выветривания				Карстовые образования (в зоне контакта с карбонатными породами)
	Трещиноватые породы. Зона лезинтеграции	Гидрослюдистые, гидрохлоритовые, керолитизированные породы. Зона выщелачивания и гидратации	Каолинитовые, нонтронитовые и другие глинистые породы. Зона гидролиза	Охристые породы. Зона окисления	
Изверженные Граниты, пегматиты		Россыпи Ta, Nb, Zr, Ti, Sn (III); вермикулит (I); руды U (VII)	Каолин (I); россыпи Ta, Nb, Ti, Sn (III); руды U (VII)	Природные пигменты (V); россыпи Ta, Nb, Zr, Ti, Sn (III); руды U (VII)	Россыпи редких и редкоземельных элементов (VIII)?
Порфириты кварцевые Диабазы, базальты, порфириты авгитовые Траппы			Каолин (I) Каолин; бокситы; монтмориллониты (I) Бокситы (I)	Природные пигменты (V)	Бокситы (VIII)
Сиениты нефелиновые, щелочные		Россыпи TR, Ce, I, Eu, Zr, Nb (III)	Россыпи TR, Ce, I, Eu, Zr, Nb (III); бокситы (I), иногда с Ta, Nb, Zr, Ga, TR	Россыпи TR, Ce, I, Eu, Zr, Nb (III)	Бокситы (VIII) Россыпи редких и редкоземельных металлов (VIII); бокситы (VIII)
Гипербазиты, серпентиниты	Магнезит, опал (IV)	Гидрохлориты и керолиты с Ni и Co (II); опал (IV)	Нонтрониты с Ni и Co (II)	Охристые глины с Ni и Co, охристые руды железа; природные пигменты (V)	Песчано-глинистые и охристые породы с Ni и Co (VIII)
Гипербазиты ослоденелые Пикритовые породы	Магнезиты (IV)	Гидрофлогопит, вермикулит (I)	Сунгулит (I) Гиббситизированные породы (I)		
Кимберлиты		Россыпи алмаза и пиропа (III)			
Метаморфические Гнейсы		Гидрослюды; вермикулиты (I)	Каолины (I)	Природные пигменты (V)	
Гнейсы графитовые Амфиболиты			Графитовые глины (III) Бокситы (I)	Природные пигменты (V)	
Сланцы слюдяные, слюдяно-хлоритовые и прочие кристаллические Кварциты железистые		Мартит-гематитовые и мартитовые кварциты (V)	Бокситы, каолины, вермикулиты (I)	Природные пигменты (V)	
Карбонатиты			Богатые мартитовые руды (V) Россыпи Ta, Nb, TR (III)		Россыпи Ta, Nb, TR (VIII)?
Метасоматиты флюорит-мусковитовые		Бериллиевый фосфат (VI)	Маршаллиты (VI)	«Марганцевые шляпы» (V)	
Сланцы кремнистые (яшмовые, кварцитовые, кварц-серпичитовые и др.)				Фосфориты рыхлые (VI)	
Сланцы глинисто-кремнистые			Эпигенетическое оруденение U (VII)		Песчано-глинистые фосфориты (VIII)
Осадочные Известняки окремненные Песчано-глинистые породы			Маршаллиты (VI) Каолины, бокситы (I)	Природные пигменты (V)	

Примечание. Римские цифры в скобках — генетические типы остаточных полезных ископаемых: I — гипергенные метасоматические, II — сорбционные, III — элювиальные россыпи, IV — секреторные, V — окисления, VI — выщелачивания, VII — эпигенетические, VIII — инфильтрационно-карстовые.

2. Россыпи минералов олова, вольфрама, тантала, ниобия с плотностью 6—8 г/см³ и содержаниями в десятки (для колумбита) и сотни (для остальных минералов) граммов на 1 м³, связанные с аллювиальными, делювиальными и элювиальными отложениями.

3. Россыпи минералов титана, циркона и редкоземельных элементов с плотностью 4—5 г/см³ и содержаниями от нескольких сотен граммов до первых десятков килограммов на 1 м³. Крупные месторождения этой группы приурочены к морским отложениям, значительно меньшее значение имеют аллювиальные россыпи.

4. Россыпи алмазов с плотностью 3,5 г/см³ и содержаниями от нескольких до десятков миллиграммов на 1 м³, связанные с аллювиальными и морскими отложениями.

По положению в разрезе отложений и строению пластов А. П. Божинский выделяет следующие типы россыпей:

1) пласты залегают внутри толщи отложений, что характерно для ископаемых морских, реже континентальных россыпей;

2) пласты четко ограничены и залегают непосредственно на плотике, что характерно для аллювиальных россыпей золота;

3) пласты не имеют четких ограничений и не всегда залегают на плотике, к этому типу относятся аллювиальные россыпи минералов титана, а также многие делювиальные и пролювиальные россыпи;

4) пласты охватывают нижнюю часть аллювия и верхнюю часть плотика, т. е. частично залегают в трещинах коренных пород;

5) пласты залегают в неровностях поверхности плотика на известковых, часто закарстованных, породах.

Мощность продуктивных пластов в аллювиальных россыпях колеблется от 0,5 м до нескольких метров, в морских ископаемых россыпях может достигать десятков метров. Весьма разнообразна форма продуктивных пластов в плане. Аллювиальные россыпи характеризуются ленточной, кустовой, гнездовой или неправильной формой, морские — пластовой или линзообразной, делювиальные — плащеобразной, элювиальные — изометричной. Граница между песками (пластами) и торфами устанавливается иногда по различиям их литологического состава, чаще — по данным опробования.

Среди россыпных месторождений наиболее распространенными и важными в промышленном отношении являются аллювиальные россыпи, многообразные по деталям генезиса, морфологии и другим признакам. В табл. 10 приводится их классификация (по Н. А. Шилю), в основу которой положен принцип приуроченности к элементам речных долин.

Методы поисков россыпей разделяются на прямые, связанные с определенными поисковыми признаками (главным образом минералогическими), и косвенные, к которым относится общее изучение всех особенностей геологического, геоморфологического и тектонического строения района.

В подготовительный к геологической съемке масштаба 1:50 000 период на основе дешифрирования аэрофотоснимков и анализа топопланшетов устанавливаются участки возможной локализации россыпей — зоны перехода суженных отрезков долин к расширенным, отличающимся развитием террас, кос, отмелей; выясняются примерное количество и особенности строения террас, отдельные элементы русла, закономерности ориентировки речной сети.

В полевой период устанавливается генетический тип россыпей и производится тщательное литологическое изучение, которое вместе с детальным геоморфологическим анализом позволяет косвенно определить возраст отложений, вмещающих россыпи, установить направление и источники сноса обломочного материала, помочь в поисках коренного месторождения. Для большинства россыпных полезных ископаемых метод

Схема классификации аллювиальных россыпей (по Н. А. Шило, 1958 г.)

Типы	Генетический ряд		Морфологический ряд			Возраст вмещающих отложений
	Виды	Разновидности	Месторождения	Строение	Размер	
Пойменные	Ложковые		Ленточные, гнездовые	Невыдержанные	Мелкие	Современный
	Русловые	В руслах с постоянным стоком В руслах с периодическим стоком	Ленточные, четковидные Гнездовые		Мелкие Средние	
	Щеточные	В сланцевых щетках В щетках магматических пород	Гнездовые	Весьма невыдержанные	Мелкие	
	Косовые	В галечных косах В песчаных косах	Изометрические	Средней выдержанности	Мелкие Средние	
	Долинные	На коренном плотике На ложном плотике			Мелкие, средние Крупные, уникальные	Современный, позднечетвертичный
Внепойменные	Террасовые	Аккумулятивных террас Эрозионно-аккумулятивных террас	Сложные ленточные	Хорошо выдержанные	Мелкие, средние	Среднечетвертичный
	Террасовальные	Деформированных террас с сохранившимся аллювием Деформированных террас без аллювия	Изометрические Линзовидные, гнездовые	Средней выдержанности Весьма невыдержанные	Крупные	Раннечетвертичный, палеогеновый
	Водораздельные (россыпи приподнятой речной сети)	Долин, сохранивших морфологические элементы Долин, утративших морфологические элементы				Среднечетвертичный, раннечетвертичный, неогеновый, палеогеновый, мезозойский

поисков с помощью шлихового опробования является прямым, поэтому изучение вещественного состава осадков — коллекторов россыпей и собственно россыпей — должно проводиться в комплексе со шлиховым опробованием. В литологическое изучение россыпей входит гранулометрический анализ, анализ петрографического состава, формы, окатанности и ориентировки обломков.

Изучение россыпей производится всеми методами, которые применяются при изучении четвертичных отложений. Особенно важной является геоморфологическая характеристика района работ, так как даже прогнозная оценка территории невозможна без выяснения и тщательного анализа всей совокупности рельефообразующих процессов. Например, при большой энергии этих процессов даже вблизи богатых рудных месторождений промышленные россыпи могут отсутствовать, потому что полезные ископаемые не успевают высвободиться и выносятся с обломками пород; в районах неотектонических опусканий полезное ископаемое разубоживается в толще мощного аллювия; неоднократная перестройка гидросети также приводит к разубоживанию россыпей. С другой стороны, определенный ход развития рельефа может привести к формированию промышленных россыпей в районах, где рудные месторождения сравнительно бедны. Характерно, что наиболее богатые россыпи приурочены к долинам с пологими склонами, и это не случайно: медленное движение делювия по пологому склону способствует большему разрушению обломков и высвобождению тяжелых минералов в делювиальную стадию выветривания.

Ход развития рельефа очень тесно связан с динамикой водотоков, часто определяющей процесс россыпеобразования. Ни в районах устойчивых опусканий, ни в районах энергичных поднятий не могут создаться условия для формирования промышленных россыпей. В первом случае отсутствие периода вреза, т. е. инстративного состояния потока, препятствует образованию промышленного пласта; во втором случае отсутствие перстративных фаз развития потока мешает скоплению на данном отрезке долины большого количества аллювия вообще. Иногда, правда, россыпи встречаются в долинах, находящихся в стадии энергичного врезания, но это говорит только о том, что ранее район характеризовался иной геоморфологической обстановкой, благоприятной для накопления аллювия и россыпей, а врез привел лишь к концентрации полезного ископаемого близ коренного ложа долины.

Поисковые работы на различные виды россыпных полезных ископаемых в процессе производства геологической съемки масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000 могут отличаться некоторыми методическими особенностями, важнейшие из которых приводятся ниже.

Главным источником самородного золота в россыпях служат различные по составу и условиям образования гидротермальные жилы, приуроченные в основном к районам развития гранитоидов, но встречающиеся и в других породах, окружающих гранитоидные интрузии. Существенным источником являются также промежуточные коллекторы (золотоносные конгломераты) и зоны окисления сульфидных месторождений.

Золото, в отличие от других россыпных полезных ископаемых, не имеет характерных спутников, что обусловлено большим разнообразием состава золотоносных гидротермальных жил. Золото не обладает способностью переноситься на большие расстояния, поэтому только мелкие, пластинчатые и чешуйчатые зерна могут быть значительно удалены от источника. Характерная особенность золота в россыпях состоит в его неравномерном распределении. В простых по строению россыпях оно приурочено, как правило, к нижним приплотиковым частям отложений. По мере удаления от источника золото в россыпях теряет свою первоначальную форму, окатывается. Распределение золота по крупно-

сти зерен бывает весьма различным; общий случай — преобладание мелких зерен в нижних по течению частях россыпи.

Основным методом поисковых работ на россыпное золото является детальное шлиховое опробование речных кос, бортов разноуровневных террас, щеток; проходка редких линий шурфов и скважин для опробования глубоких горизонтов; геоморфологические и геофизические исследования.

Следует предостеречь геологов от «повального» шлихования всех водотоков, особенно от сплошного опробования больших рек, не приводящего, как правило, к хорошим результатам. Шлиховое опробование целесообразно начинать с русел и кос небольших рек, цоколей террас, ложков, малых боковых притоков. Необходимо стремиться отбирать пробы из приплотиковой части, учитывая, однако, что пробы с разрушенного плотика обычно показывают завышенное содержание металла по сравнению со средними содержаниями в россыпи. Шлиховые пробы на косах берутся в осевой части косы, причем опробование надо производить весьма осторожно, так как косовое золото обычно очень мелкое. Поэтому промывку для лучшего улавливания следует проводить с ртутью. На террасах опробуется цокольная часть, в ложках — их русла ниже пересечения ложками террас основной реки.

При значительной мощности четвертичных отложений поиски золотых россыпей требуют больших объемов горных или буровых работ, причем проходка шурфов, ввиду обводненности аллювия, обычно производится зимой. Линии выработок, первоначально без определенных интервалов, закладываются поперек долины таким образом, чтобы крайние шурфы или скважины захватывали оба ее коренных берега. Типы выработок определяются мощностью, водоносностью, валунистостью, характером плотика, наличием мерзлоты, равномерностью распределения золота, его крупностью. Расстояния между выработками зависят от ширины долины и колеблются от 20 до 60 м.

Для установления характера распределения золота толща отложенный полностью подвергается опробованию по интервалам проходки 0,25—0,5 м. В общем случае промываются бороздовые пробы выкидов из шурфа с определенного интервала, и лишь интервалы, показавшие повышенное содержание металла, промываются полностью. Буровые скважины бурятся наибольшим возможным диаметром, причем всегда следует учитывать возможность встречи с ложным плотиком, особенно в случае, если пласт погребен под мореной, в которой состав валунов идентичен составу коренных пород района.

При поисках погребенных россыпей золота необходимо иметь в виду их сложное строение, возможность образования нескольких продуктивных горизонтов и мощных «пустых» пород между ними. Горные выработки в этом случае закладываются после проведения геофизических исследований (ВЭЗ, ЭП, микросейсмика), которые определяют положение рельефа коренных пород, границ таликов и многолетней мерзлоты, примерные контуры древней долины и мощность выполняющих ее отложений. Результатом поисковых работ является карта золотоносности, на которой показываются контуры участков, заслуживающих постановки более детальных поисков или предварительной разведки, а также геологическая (прогнозная) оценка запасов отдельных россыпей или участков.

Платина, как и золото, встречается в природе главным образом в самородном виде и почти всегда с примесями железа, никеля, меди и других металлов. Коренные месторождения платины связаны исключительно с ультраосновными и основными породами, главным генетическим спутником платины является хромит; поэтому наибольший интерес для поисков платиноносных россыпей представляют районы, где известны хромитсодержащие ультраосновные породы. Надо отметить,

однако, что россыпи платины могут встречаться на значительном расстоянии от коренного источника, что обусловлено как перемывом россыпей, расположенных выше по течению, так и степенью выветривания ультраосновных пород. Нередко вместе с платиной встречается и осмистый иридий, который в полевых условиях трудно отличается от платины.

Из минералов олова практическое значение имеет касситерит (оловянный камень), россыпи которого по условиям образования весьма разнообразны. Существенное значение имеют элювиальные и делювиальные россыпи, но основная роль принадлежит аллювиальным и аллювиально-делювиальным, расположенным в верховьях рек вблизи коренных источников. Касситерит благодаря своим физическим свойствам обладает хорошей миграционной способностью и переносится на расстояние до 8—10 км (например, россыпь Распашного месторождения в Приморском крае). Необходимо отметить, что даже при низком содержании касситерита, до 40 г/м³, россыпь заслуживает внимания, так как во многих случаях добыча касситерита из россыпей экономически более оправдана, чем из коренных месторождений.

Оловоносные аллювиальные россыпи, в отличие от россыпей золота, имеют меньшую длину, характеризуются меньшей изменчивостью по ширине и мощности. Особенность шлихового опробования при поисках оловянного камня состоит в том, что пробы промываются только до серого шлиха, поскольку касситерит значительно легче золота. Так же, как и при поисках золота, опробуются все обнажения аллювия террас, особенно их приплотиковая часть, русла всех мелких речек и ключей; шлиховое опробование сопровождается отбором донных проб для спектрального анализа. Плотность сети шлихового опробования при поисках олова в масштабе 1 : 50 000 обычно принимается равной 4—7 шлихам на 1 км², расстояние между пробами на крупных реках составляет 500 м, на средних — 200—300 м, на мелких — до 150 м.

Более детальные поиски осуществляются с помощью шурфовки или бурения. При характерной для оловоносных россыпей небольшой протяженности и быстром снижении содержания с удалением от коренного источника поисковые линии должны закладываться вначале вблизи от источника, причем не следует стремиться к строго выдержанным интервалам между линиями, пока не обнаружен участок с повышенными содержаниями касситерита. Расстояния между выработками на линиях должны исключать пропуск оловянных струй; чаще всего они составляют 40—20 м, а на обогащенных участках — 10 м. Во всех случаях необходимо стремиться к добивке шурфов до плотика, что в связи с большими водопритоками часто не соблюдается в практике поисковых работ. Опробование шурфов и скважин ведется по интервалам в 0,5 м. Для правильного определения содержания касситерита необходим постоянный контроль путем повторной промывки хвостов проб как при лотковом, так и при сепараторном опробовании, причем особого внимания доводка шлиха требует тогда, когда на поверхности промываемого материала появляются контрольные минералы (рутил, гранат и др.).

Способность касситерита накапливаться в россыпях в значительной степени зависит от типов коренных месторождений. Наиболее устойчиво при переносе «деревянистое олово», однако его промышленные россыпи редки; чаще в россыпях концентрируются сростки мелко- и крупнозернистого касситерита, характерные для многих месторождений турмалинового и хлоритового типа. Крупно- и среднекристаллический касситерит также хорошо сохраняется в россыпях, но вследствие хрупкости зерен переносится на меньшее расстояние. Наиболее вероятным источником оловоносных россыпей следует считать месторождения силикатно-кварцевой группы, турмалиновый тип силикатно-касситеритовой формации, крупные штокверковые месторождения всех типов минера-

лизации; возможным источником могут служить также типичные каситерит-сульфидные месторождения.

К *титановым минералам*, связанным главным образом с основными и ультраосновными породами, относятся рутил, ильменит, титаномагнетит, лопарит, перовскит, сфен. Генетическими спутниками титана являются в основном различные силикаты (оливин, пироксен и др.).

Четвертичные россыпи титана на территории СССР приурочены к морским, дельтовым отложениям, характеризуются значительным удалением от коренных источников сноса, небольшой (0,5—0,3 м) мощностью и шириной (десятки метров). Продуктивные пески залегают обычно на дневной поверхности и отличаются наибольшей концентрацией полезных минералов в естественных шлиховых полосах, в связи с чем начальная стадия поисков может быть ограничена маршрутами вдоль побережья с последующей проходкой шурфов малого сечения и мелких скважин поперек полосы побережья.

В последние годы во Всесоюзном институте минерального сырья разработана методика поисков титановых россыпей, в основе которой лежит изучение полного минералогического состава тяжелой фракции и гранулометрический анализ песков. Для выделения продуктивных горизонтов определяется соотношение устойчивых, промежуточных и неустойчивых минералов тяжелой фракции россыпей, которые накапливались в прибрежно-морской, прибрежно-озерной обстановке или при участии донных течений. Надо отметить, что россыпные месторождения этого типа обычно занимают большие площади, характеризуются устойчивым содержанием полезных компонентов, причем кроме минералов титана они часто содержат монацит, циркон, иногда ксенотим. Их промышленная ценность в ряде случаев может быть увеличена возможностью их использования в качестве нерудного сырья (стекольные, строительные, иногда формовочные пески).

Мелкий размер зерен и небольшая плотность титановых минералов обуславливают применение специальной методики при опробовании россыпей (Г. С. Момджи, 1958, 1962 гг.; Г. С. Момджи и др., 1962 г.). Так, для ориентировочной оценки по точечным пробам промывка песков на лотке заменяется их квартованием до навески 20—40 г и последующим выделением из малых навесок тяжелой фракции при помощи бромформа. Для обработки больших проб (бороздовых, керновых) рекомендуется их квартование до навески 300—500 г, промывка на мелкопесковом концентрационном столе, затем вновь квартование до навески 20—25 г и извлечение тяжелой фракции при помощи бромформа.

В прибрежно-морских и озерных титановых россыпях, имеющих первостепенное промышленное значение, содержание суммы рудных минералов должно быть не менее 40—50 кг/м³. Немалую роль играют также аллювиальные россыпи ильменита с невысоким содержанием (до 30 кг/м³), но позволяющие иногда применять экономически выгодную дражную систему отработки.

При поисках аллювиальных россыпей ильменита буровые линии закладываются поперек всех элементов долин с интервалами до 7000 м; расстояние между скважинами не должно превышать 100—200 м. Следует иметь в виду, что титановые аллювиальные россыпи чаще всего являются погребенными, в связи с чем при поисках широко используются геофизические методы: ВЭЗ и симметричное двухразносное электропрофилеирование для определения характера поверхности ложа и изменения литологического состава пород; магниторазведка для поисков основных титаносодержащих пород, отличающихся повышенными значениями магнитного поля.

Поиски россыпей минералов *циркония* (циркон, бадделейт, эвдиалит, катаплет, циркелит и др.) проводятся, как правило, в районах распространения кислых и щелочных пород, главным образом щелоч-

ных и нефелиновых сиенитов и пегматитов. Циркон — один из наиболее устойчивых минералов и может переноситься на большие расстояния, что приводит к его освобождению от малоустойчивых минералов-спутников. Условия, соответствующие длительному переносу, характерны для прибрежных областей, где нередко и развиты россыпи циркона и устойчивых его спутников — ильменита, рутила, монацита и др. В связи с этим поиски цирконовых россыпей ведутся по той же методике, что и поиски россыпей титана. Следует лишь добавить, что содержание циркона, радиоактивного благодаря присутствию в нем изоморфных примесей урана и тория, в пробах может быть определено с помощью радиометрического прибора «Циркон» (Г. С. Момджи и др., 1962 г.; А. Л. Якубович, 1959 г.).

В ряде случаев важное промышленное значение имеют россыпные месторождения *редкоземельных* и *радиоактивных минералов*, к которым относятся монацит, лопарит, самарскит, ортит, ксенотим, гадолинит и др. Основными типами четвертичных россыпей этих минералов являются прибрежные, озерные, элювиальные, делювиальные и аллювиальные.

Ниобий и тантал входят составной частью во многие минералы, важнейшие из которых — колумбит-танталит, пирохлор, лопарит — связаны с пегматитами щелочных и гранитных пород. Из названных выше редкоземельных минералов ведущая роль принадлежит монациту — весьма устойчивому минералу, который переносится на большие расстояния и часто встречается в прибрежно-морских россыпях в ассоциации с цирконом, ильменитом, корундом, торитом и другими минералами. В известных за рубежом аллювиальных россыпях монацита ему сопутствует турмалин, роговая обманка и т. д.

Основные запасы редкометалльных минералов концентрируются в прибрежно-морских россыпях; иногда крупные размеры имеют аллювиальные россыпи монацита, колумбита, танталита, а также россыпи, связанные с корой выветривания. Эти элювиальные и делювиальные россыпи имеют, как правило, небольшие размеры, но присутствие в них таких минералов, как ксенотим, пирохлор, эвксенит, колумбит, танталит, делают их в ряде случаев весьма перспективными. Методы поисков россыпных прибрежно-морских и аллювиальных месторождений указанных минералов на стадии работ масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) по существу не отличаются от описанных выше методов поисков титана.

Для поисков россыпных месторождений *алмаза* наиболее характерно использование минералов-спутников. Следует отметить, что, несмотря на многократное переотложение алмазов на их пути от коренного источника к россыпи, генетические спутники сохраняются почти во всех россыпях. В условиях Сибирской платформы таким устойчивым спутником алмаза оказался пироп, обладающий некоторыми специфическими свойствами, указывающими на его происхождение из кимберлитов. Именно благодаря установлению устойчивых генетических спутников алмаза были открыты его коренные месторождения — кимберлитовые трубки.

Минералогический критерий при поисках алмазоносных россыпей является главным. Однако в отличие от поисковых работ на золото, касситерит и другие полезные ископаемые, где промывка ковшевых проб оказывается достаточной для констатации и примерного определения их содержания, при поисках алмазов должны обрабатываться большие, до десятков кубометров, пробы.

Коренные месторождения алмазов, согласно современным представлениям, связаны с кимберлитами и интрузиями перидотитов. Источником четвертичных россыпей могут быть и древние ископаемые россыпи, поэтому изучению должны подвергаться такие обломочные породы, как гравелиты, конгломераты, древние морены. Особое внимание необходи-

мо уделять мономиктовым базальным конгломератам, содержащим в тяжелой фракции благоприятную шлиховую ассоциацию (хромит, ильменит, циркон, шпинель, платина, хромдиопсид), причем следует учитывать, что алмазы по устойчивости намного превосходят своих спутников и поэтому могут встречаться в отложениях, которые содержат не связанные с ультраосновными породами минералы.

Четвертичные россыпи алмазов, непосредственно связанные с образованием отложений и слагаемых ими форм рельефа, представляют собой наибольшую промышленную ценность. Это обуславливает особую важность геоморфологических исследований в комплексе геологопоисковых работ на россыпные алмазы. Главной задачей таких исследований является изучение долин, истории их формирования, последовательности эрозионных циклов, изменения в конфигурации долин и т. д. Известно, что россыпные месторождения алмазов образуются при определенных геоморфологических условиях: они приурочены к зонам интенсивного перемыва гидросетью коренных или древних россыпных месторождений. Таким условиям отвечают участки уступов и склонов, разделяющих разновозрастные поверхности выравнивания; участки единого пенеппена, поднятые на различную высоту; долины, испытавшие неоднократные циклы врезания. Алмазы обладают способностью накапливаться в разнообразных углублениях плотика и в местах резкого замедления течения реки, поэтому наиболее благоприятны участки с развитием карста, исполинских котлов, даек, порогов и т. д.

Естественно, что геоморфологические исследования проводятся в самой тесной связи с изучением вещественного состава отложений, в которых отмечаются обломки коренных пород и устанавливается источник рыхлого материала с последующим выявлением всех этапов миграции алмазоносных осадков.

Среди аллювиальных россыпей алмазов выделяются русловые, косовые, долинные и террасовые с ненарушенным залеганием аллювия, террасовые с нарушенным залеганием аллювия и ложковые; все они имеют различные размеры, однако с точки зрения методики поисков и дальнейшей разведки месторождений классифицируются в основном по ширине, поскольку их длина характеризуется многокилометровой протяженностью.

Отличительной чертой алмазоносных россыпей, по сравнению с близкими к ним россыпными месторождениями золота, является чрезвычайно низкое содержание алмазов. Россыпи со средним содержанием 0,4—0,5 мг/м³ уже считаются заслуживающими самого пристального внимания. В определенной мере для россыпей характерна приуроченность алмазов к нижним горизонтам и часто к поверхности плотика. В отдельных случаях отмечается струйчатое распределение обогащенных участков вдоль продольных углублений в русле реки.

Методика изучения алмазоносных отложений несколько отличается от методики исследования россыпей других полезных ископаемых. Это объясняется особенностями самих алмазов: они не обладают окраской, привлекающей внимание, и поэтому могут быть пропущены в отложениях и даже в концентратах; по плотности алмазы мало отличаются от породообразующих минералов. Морфологические контуры возможного будущего месторождения обычно устанавливаются еще при среднемасштабных геолого-геоморфологических съемках долины, однако единственным непосредственным признаком алмазоносности являются либо сами алмазы, либо их устойчивые минералы-спутники, выявление которых возможно лишь при крупнообъемном опробовании с последующим обогащением.

Перед закладкой первых поисковых линий необходимо составление геоморфологической карты долины в более крупном, чем собственно геологосъемочные работы, масштабе (1:10 000—1:5000). На нее кро-

ме данных шлихового опробования наносятся сведения о всех особенностях аллювия (руслового, косового, долинного, террасового), о мощности отложений в наиболее интересных участках, о глубинах реки. Правильно выбранное место для линий, с учетом всех местных особенностей долины, во многом определяет успех последующего опробования.

Для определения размеров выработки необходимо знать исходный объем пробы, устанавливаемый по объемам проб в смежном алмазонасном районе. Так, в уральских районах для констатации одного алмаза следует отобрать и обогатить в среднем 60 м^3 продуктивной горной массы, в вилуйском — 10 м^3 . Для россыпей шириной менее 100 м длина канавы, при объеме представительной пробы $60\text{--}100 \text{ м}^3$, равна обычно длине всей линии; в этом случае для уточнения мест находки алмазов пробу обрабатывают двумя-тремя отдельными частями. Среднее расстояние между поисковыми линиями на стадии работ масштаба $1:50\,000$ ($1:25\,000$) составляет $1200\text{--}1600 \text{ м}$.

Гравийно-песчаные месторождения. Гравийно-песчаным материалом называется рыхлая обломочная порода, состоящая из естественной механической смеси песка и крупных обломков горных пород. К собственно гравию относятся различно окатанные обломки размером от 3 до 70 мм, более крупные представляют валуны. Зерна мельче 3 мм (иногда 5 мм) относятся к песку.

Гравийно-песчаные месторождения встречаются почти исключительно в четвертичных отложениях. Наиболее распространенные промышленные месторождения приурочены к флювиогляциальным (зандровым, озовым, камовым, межморенным), аллювиальным (террасовым, пойменным, русловым), пролювиальным (силевых потоков и конусов выноса), морским (террасовым, прибрежным и отложениям береговых валов) и озерным отложениям. Месторождения, связанные с конечными моренами (моренами напора) и друмлинами, встречаются реже, характеризуются плохой отсортированностью материала по крупности, разнообразием петрографического состава и окатанности.

По природным факторам, определяющим методику поисков гравийно-песчаных месторождений, А. М. Сехомский (1967 г.), выделяет три группы месторождений: 1) месторождения, характеризующиеся широким площадным распространением гравийно-песчаного материала, образующего пластовые или крупные пластообразные залежи. К этой группе относятся месторождения, связанные с дельтами и разливами рек, вытекающих из горных районов, и месторождения, приуроченные к зандровым покровам; 2) месторождения, имеющие удлиненную форму и характеризующиеся линзообразным залеганием материала, аллювиальные (русловые, террасовые) и месторождения, приуроченные к морским и озерным побережьям и к древним ложбинам стока ледниковых вод; 3) месторождения, имеющие форму гряд и холмов и характеризующиеся линзообразным залеганием, приуроченные к ледниковым формам рельефа (озам, камам, конечноморенным грядам и т. д.).

Главным методом поисков гравийно-песчаных месторождений является геологическая съемка четвертичных отложений, в процессе которой основное внимание уделяется изучению террасовых и русловых отложений, всех элементов ледниковой аккумуляции, делювиально-пролювиальных образований в горах. В плохо обнаженных районах производятся горные и буровые работы, однако лишь в немногих случаях удается пробурить гравийные отложения на полную мощность. Тем не менее данные бурения весьма важны, так как позволяют установить площадь распространения, глубину залегания, примерный состав и мощность осадков. Для прослеживания гравийных отложений на глубину применяются ВЭЗ и ЭП, причем профили должны располагаться вкрест предполагаемого простираения гравийных образований и несколькими точками выходить за пределы их контура. Для количественной оценки

данных ЭП по тем же профилям, но по более редкой сети проводится ВЭЗ с обязательной постановкой параметрических крестовых ВЭЗ у скважин, вскрывших полную мощность гравия.

При документации обнажений и горных выработок отмечается ориентировочный размер зерен; распределение песка, гравия и валунов в продуктивной толще; форма и степень окатанности обломков, их петрографический состав; характер загрязненности материала глиной и органическими соединениями; гранулометрический состав и коэффициент выхода гравия. В ряде случаев, кроме этого, производится определение объемной массы в целике и коэффициента разрыхления.

Опробование при поисках на стадии геологосъемочных работ масштаба 1:50 000 должно обеспечить геологическую оценку гравийно-песчаных месторождений и проявлений с определением в ряде случаев прогнозных запасов полезного ископаемого. С этой целью во всех обнажениях и горных выработках отбираются послонные пробы и производится грохочение с определением процентного соотношения содержания в породе обломков различных размеров (без более дробного деления на фракции), причем отмечаются преобладающие размеры гравия и валунов и соотношение крепких и слабых пород. Из песчаной фракции отбираются пробы для гранулометрического анализа и определения содержания глинистых и органических примесей.

Формовочные пески, используемые для изготовления форм, в которые разливается расплавленный металл, должны обладать определенными свойствами: связностью, т. е. содержанием глинистого материала, достаточным для сохранения приданной им во влажном состоянии формы; огнеупорностью, чтобы выдержать температуру расплавленного металла (например, для стали используются высококремнеземистые пески, цементированные огнеупорными глинами и выдерживающие температуру до 1500°С); прочностью для противодействия давлению металла; проницаемостью для того, чтобы пары и газы при охлаждении металла не оставались в нем; соответствующей структурой и составом, обеспечивающим гладкую поверхность отливки и химическую инертность по отношению к горячему металлу.

Качество формовочных песков, размеры, форма и мощность их скоплений тесно связаны с условиями их формирования. Они могут быть приурочены к различным генетическим типам четвертичных отложений: морским, озерным, дельтовым, золовым, древним и современным аллювиальным, элювиальным, делювиальным и ледниковым. Из них наибольшей промышленной ценностью обладают морские осадки.

Для *стекольных песков* в первую очередь требуется большое количество кремнезема, до 93% при производстве обычного и до 99% при производстве оптического стекла. Содержание окрашивающих элементов (железа, хрома, кобальта и др.) не должно превышать сотых, а для кобальта даже тысячных долей процента. Глинозем в виде полевошпатовых зерен должен составлять не более 4—5%. Обычно очень немногие природные пески удовлетворяют этим требованиям, и поэтому они, как правило, подвергаются обогащению, главным образом удалению глинистого материала и окислов железа.

Кроме этого, пески используются в качестве абразивных материалов для распиловки камней, полировки стекла и металла, для обеспечения сцепления рельсового транспорта с мокрыми и скользкими рельсами, для внутренней футеровки вагранок и литейных ковшей, как фильтрующая масса в городском водоснабжении, для производства силикатного кирпича, в качестве добавок в цементную массу, штукатурку, асфальт, для покрытия автодорог.

Качество песков целиком зависит от фациальных условий, в которых происходили перенос и формирование песчаных отложений. С точ-

ки зрения отсортированности и однородности песков наиболее благоприятными условиями являются фации морских и крупных озерных бассейнов, затем (в порядке ухудшения однородности) следуют эоловые, аллювиальные, зандровые, пролювиальные и делювиальные пески.

Песчаные месторождения так же, как и гравийно-песчаные, делятся А. М. Цехомским (1967 г.) на несколько групп: прибрежно-морские, озерные, дельтовые и зандровые кварцевые и полимиктовые пески, образующие пластовые или крупные пластообразные залежи; аллювиальные, ледниковые и хорошо отсортированные делювиальные и пролювиальные пески, характеризующиеся линзообразным залеганием; отложения морских и озерных береговых валов, эоловые пески дюн и барханов, пески озон и камов, т. е. приуроченные к определенным формам рельефа; элювиальные пески на кварцевых песчаниках и кварцитах.

При выборе района поисков следует иметь в виду, что пески редко перевозятся на большие расстояния, т. е. они должны рассматриваться как сырье местного значения, за исключением кварцевых песков, чистые разности которых встречаются довольно редко.

Глины, связанные с четвертичными отложениями, широко используются в разных отраслях промышленности. Большая часть добываемых глин применяется в производстве строительных глиняных материалов: кирпича, метлахской плитки, облицовочной плитки, канализационных труб и т. д.

Для кирпичного производства используются легкоплавкие песчанистые глины, возможно также применение суглинков, супесей, лёссовидных отложений и собственно лёссов. Из более высококачественных тонкозернистых пластичных и легкоформирующихся глин, в которых отсутствуют включения размером больше 1 мм, изготавливают черепицу; глины с большим содержанием Al_2O_3 добавляются в цементную массу. Хорошим сырьем для производства кирпича и черепицы служат ленточные и другие глины озерно-ледникового происхождения, которые содержат достаточное количество песка и обладают сравнительно большой мощностью. Могут быть использованы также аллювиальные и озерно-аллювиальные глины и суглинки основной морены (после удаления валунов). Большое значение имеют также морские и лагунные глинистые отложения.

При поисках и особенно при отборе глин на лабораторные анализы следует стремиться к наиболее точному установлению их типа с точки зрения дальнейшего использования. Не менее важно для практических целей определить состав и содержание неглинистых минералов и органического вещества. Внешним признаком для обнаружения глин служат заболоченность участка, обилие родников, низкий уровень подпочвенных вод в колодцах, т. е. все особенности строения четвертичных отложений, свидетельствующие о близости водоупорного горизонта. В расчистках обнажений глина визуальна распознается при размятии породы пальцами: она не рассыпается на отдельные зерна, не ломается, сохраняет приданную ей форму. Опробование глин производится, как правило, бороздовым способом с интервалами до 10 см между бороздами и отбором призмобразных образцов. При однородном строении глинистой толщи пробы могут быть смешаны и сокращены до одной пробы массой 2—3 кг.

Детальные исследования свойств глин применительно к различным промышленным нуждам производятся в лабораторных условиях. Однако некоторые их особенности можно выявить и непосредственно в полевых условиях при поисковых работах. Степень запесоченности определяется путем размешивания глины в сосуде с чистой водой (одной части глины с четырьмя частями воды). Взвешенные глинистые час-

тицы после отстоя в течение 10—15 мин сливают, а осевший песок высушивают и взвешивают. Процент запесоченности определяется по формуле $\frac{P_{\text{пес}}}{P_{\text{гл}}} \cdot 100$, где $P_{\text{пес}}$ — масса песчаного осадка, а $P_{\text{гл}}$ — масса взятой сухой глины.

Вредной примесью в глинах и особенно в лёссовидных суглинках являются известковые конкреции — «журавчики», так как при обжиге конкреция превращается в известь и разрывает кирпич.

Отбеливающие свойства глин обычно определяют так: высушенную при 120—200°С и растертую в порошок глину засыпают в сосуд из белого стекла, наполненный керосином, бензином, маслами и т. д. (при соотношении 1:3), взбалтывают, дают в течение 10—15 мин отстояться и в зависимости от степени осветления вещества определяют отбеливающие качества. Пластичность глины выявляют путем замешивания материала с водой, скатывания полученного «теста» в валик и сгибания валика в кольцо. Высокопластичные глины сгибаются без разрывов и трещин, а кривизна дуги до образования трещин служит мерилем пластичности.

В ряде случаев качество глин характеризуется их цветом. Светло-серые и белые глины, содержащие мало железа, являются огнеупорными или тугоплавкими, красноватые глины не огнеупорны и пригодны лишь для грубой керамики; темные и черные тона указывают на обилие органических веществ, однако технологические качества таких глин могут быть определены только после обжига и выгорания органических примесей.

Торфяные месторождения. Торфяным месторождением обычно считается слой торфа, имеющий мощность более 0,7 м во влажном состоянии и не менее 0,5 м в осушенном.

Поисковые работы на торф на стадии геологической съемки масштаба 1:50 000 (1:25 000) ведутся методом оконтуривания возможного месторождения и прокладывания внутри контура зондировочной сети, состоящей из магистралей, которая располагается в направлении наибольшего протяжения через середину месторождения, и перпендикулярных к ней поперечников. Зондирование производится по всем пикетам магистралей и поперечников, а в наиболее характерных точках месторождения проводится описание растительного покрова и бурение с отбором образцов торфа для выяснения стратиграфических особенностей месторождения.

Отбор проб для определения объемной массы, влажности, зольности, теплоты сгорания, склонности к самовозгоранию, процессов усадки, прочности, крошимости, влагоемкости и других свойств торфа может выполняться послойным или шурфовым способом. Послойные пробы отбираются при необходимости охарактеризовать отдельные слои по соответствующим интервалам; шурфовая проба служит средним показателем на всю мощность торфяного пласта, причем она отбирается также послойно, равными объемами, а затем объединяется в одну и характеризует всю залежь.

Крупные торфяные месторождения чаще всего представляют собой сложные образования, отдельные участки которых различаются по видам и типам залежей. Это объясняется разными условиями водно-минерального режима и неодинаковой скоростью торфонакопления в одно и то же время. На основании этих различий месторождения обычно разбиваются на однородные участки.

Особенности геоморфологического строения района при поисках месторождений торфа приобретают значение прямых поисковых признаков. В связи с этим приводится следующая геоморфологическая классификация торфяных месторождений:

- 1) пойменные, всегда низинные, многозольные;
- 2) месторождения первых надпойменных террас (притеррасные), располагающиеся у тылового шва террасы и принимающие в себя выклинивающиеся здесь грунтовые воды; залежь этих месторождений обычно нацело лесная, отличается высокой зольностью;
- 3) месторождения вторых надпойменных террас, располагаются на склонах от второй террасы к первой, источником их водного питания служат атмосферные осадки и воды поверхностного стока; месторождения обычно сложены сфагновым низинным торфом невысокой зольности (5—7%);
- 4) месторождения центральных частей вторых надпойменных террас, залегая в неглубоких понижениях на мощном аллювии, почти лишены доступа грунтовых вод и развиваются как верховые; лишь крайние их участки представлены иногда низинной или смешанной залежью;
- 5) притеррасные месторождения вторых надпойменных террас, расположенные у тылового шва, характеризуются смешанным строением залежей, иногда встречаются двухслойные залежи, состоящие из более мощных низинных и маломощных верховых торфов;
- 6) месторождения склонов водоразделов и зандровых равнин, занимают обычно обширные площади при значительной глубине залежей, причем обычно большая их часть сложена верховыми торфами, меньшая — низинными; в основании залежей часто наблюдаются отложения сапропелей;
- 7) месторождения водораздельных сточных котловин, широко распространены в районах моренных образований, где обеспеченный и довольно постоянный минеральный режим обуславливает развитие низинных торфов; месторождения проточных котловин имеют удлиненную форму, сток в различных направлениях и залежи низинного типа; бессточные водораздельные месторождения также развиты в моренных районах. Овражные месторождения распространены в лесостепной зоне, питаются почвенными и грунтовыми водами и всегда представлены низинными залежами.

Сапропели. Сапропель — порода биогенного происхождения, образующаяся на дне пресноводных водоемов из остатков планктонных и бентосных организмов при большой роли бактериальных процессов, происходящих в поверхностных слоях отложений при малом доступе кислорода. Внешне сапропель имеет вид желеобразной массы, в нижних, более плотных слоях ее можно резать ножом. Окраска породы весьма разнообразная — коричневая, темно-оливковая, темно-серая, почти черная, серо-желтая, голубоватая, зеленоватая, розовая, причем цвет играет большую роль при оценке породы, так как указывает на наличие органических и неорганических примесей: зеленоватый — хлорофилла, розовый — каротина, голубоватый — вивианита, черный, быстро темнеющий на воздухе — восстановленного железа, сероватый — глины или извести и т. д. Сапропели обладают хорошей пластичностью, вязкостью, липкостью, адсорбционными и другими свойствами, благодаря которым они находят применение в качестве удобрений, минерально-витаминной подкормки животных, в медицине, ветеринарии, как химическое сырье и стройматериалы.

Поиск сапропелевых отложений, погребенных под торфяными залежами, ведутся одновременно с поисками последних, но оценка сапропелей производится отдельно. Изучение сапропелей в водоемах может проводиться зимой — со льда и летом — с открытой водной поверхности, что связано, естественно, с рядом технических трудностей. При поисках на стадии работ масштаба 1 : 50 000 определяется наличие сапропелей в водоеме, оценивается их качество и даются некоторые коли-

ческие характеристики. На площади водоема закладывают зондировочные точки, причем для озер площадью до 10 га рекомендуется 3 зондировочные точки, до 100 га — 5 точек и более 100 га — 5 плюс одна точка на каждые 100 га. На каждой зондировочной точке определяется мощность льда, глубина воды, мощность сапропелей и характер подстилающих пород. Образцы для визуального определения вида сапропелей, их цвета, изменения окраски на воздухе, консистенции, а также пробы для лабораторных анализов зольности, кислотности, содержания кальция, пылевого, диатомового и других берут с интервалом 0,5 м.

Минеральные соли. Четвертичные месторождения минеральных солей включают поваренную соль, которая применяется как пищевая, кормовая и техническая, причем насчитывается более 1500 производств, где используется соль или продукты ее переработки — калийные соли, сульфат натрия, углекислая и двууглекислая сода.

Поиски месторождений природных минеральных солей, связанных с четвертичными отложениями, не требуют применения каких-либо сложных методов потому, что озерные соляные месторождения располагаются либо непосредственно на земной поверхности, либо в верхних слоях четвертичного покрова. Предпосылками для поисков соляных озер и залежей служат определенные физико-географические и геоморфологические условия. Косвенными признаками являются соляные выцветы, карст, отсутствие растительности. В качестве прямых признаков используются химический состав воды озера, выходы соляных источников и обнажения солей на площади озера.

К косвенным поисковым признакам, применительно к погребенным под песчаными и песчано-илистыми отложениями соляным залежам, относятся выцветы и налеты солей, которые поднимаются снизу по капиллярным порам, засоленность почвы, вызывающая гибель растительности или позволяющая произрастать полыни и солянке, карстовые провалы.

Из прямых поисковых признаков при поисках соляных озер в первую очередь имеет значение химический состав воды в озерах. Однако для поисков собственно минеральных солей его роль несколько снижается, так как соляные залежи могут располагаться под слоем песчано-илистых отложений и состав рапы в этом случае не свидетельствует о составе залежи. Кроме этого, иногда на дне временно опресненного озера также встречаются залежи соли. К прямым признакам относятся и выходы соленых грунтовых вод, которые используются для поисков погребенных соляных залежей высохших озер типа подпесочных. В большинстве случаев соляные источники связаны с более древними, чем четвертичные, соленосными породами.

Существенную пользу поисковым работам на соли приносит дешифрирование аэрофотоснимков, однако следует учитывать, что на них весьма трудно различать собственно соляные озера и солончаки с белыми выцветами солей. Вопрос о наличии или отсутствии в обнаруженных соляных озерах собственно соляных залежей может быть решен только с применением бурения и горных работ.

К особенностям четвертичных соляных залежей, определяющим методике их поисков, относятся: горизонтальное или почти горизонтальное залегание соляных тел при обычно линзообразной форме; расположение залежей на незначительной глубине или непосредственно на поверхности; небольшая мощность при разнообразном строении в плане; расположение залежи в ряде случаев под слоем рапы и наличие межкристаллической рапы внутри залежи; наличие карстовых и других полостей, заполненных рапой или илом.

ОТРАЖЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ОТЧЕТЕ

В отчете о выполнении геологосъемочных и поисковых работ масштаба 1:50 000 должны быть приведены все сведения о ранее известных и вновь обнаруженных месторождениях, проявлениях и признаках полезных ископаемых и на основе этих сведений дана оценка минерально-сырьевых ресурсов района, включая прогноз и рекомендации по направлению и методике дальнейших поисковых и разведочных работ. Для общей характеристики и оценки минеральных ресурсов района составляется карта полезных ископаемых, для выяснения и оценки перспектив прироста минеральных ресурсов — карты закономерностей размещения полезных ископаемых и прогноза. Эти карты тесно взаимосвязаны, однако они несут качественно различную информацию о полезных ископаемых, в связи с чем методы их составления и применяемые условные обозначения различны [см. 328].

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И ПОИСКОВ

К настоящему времени накоплен большой опыт использования математических средств для решения разнообразных задач во всех областях геологии. Обращение к языку математики и возможностям современных ЭВМ многократно ускоряет решение типовых геологических задач, обеспечивая при этом получение более точных и достоверных результатов.

Многоаспектность геологической науки определяет отсутствие однозначного соответствия между множеством геологических задач и совокупностью математических процедур, пригодных для их решения. Подавляющее число геологических задач, для решения которых привлекаются математические методы, можно отнести к одному из четырех типов: 1) описание геологических объектов; 2) расчленение геологических объектов; 3) сопоставление и корреляция; 4) поисково-прогнозные задачи.

Ниже рассматриваются математические методы и примеры решения геологических задач, относящихся к каждому из этих типов.

ОПИСАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Изучение любого геологического объекта начинается с его описания. При этом требуется дать по возможности объективную характеристику изменчивости его свойств — того или иного набора признаков. Очень часто геологи не в состоянии заранее предсказать значения измеряемых признаков: содержания пелитовой компоненты в пробе донных осадков, размера единичных зерен кварца в граните и т. п. По этой причине такого рода признаки целесообразно рассматривать как случайные величины. В большинстве случаев для описания случайной величины достаточно подобрать закон распределения, удовлетворяющий наблюдаемым значениям этой величины, и вычислить параметры распределения.

При изучении геологических объектов наиболее часто используется нормальное, логнормальное, биномиальное распределение и распределение Пуассона. Первые два из перечисленных законов используются при описании непрерывных случайных величин, остальные — при описании дискретных случайных величин.

Нормальный закон распределения часто позволяет удовлетворительно описать поведение таких признаков, как содержание петрогенных окислов в той или иной разновидности горных пород, логнормальный — содержания микроэлементов, размеры геологических тел определенного типа, биномиальное распределение оказывается полезным при описании признаков, которые принимают только два значения — «есть» или «нет» (например, при делении объектов какого-либо типа на рудоносные и нерудоносные), распределение Пуассона применяется при описании относительно редких явлений: например, при характеристике количества зерен акцессорного минерала в каждом из шлифов, относящихся к одной выборке, или количества месторождений на каждом участке какой-либо территории, имеющем относительно малые фиксиро-

ванные размеры. Эти законы являются наиболее употребительными в геологических исследованиях, но они не исчерпывают всех возможных случаев. Исчерпывающее описание поведения непрерывной случайной величины (совокупности ее значений) дает функция ее распределения. Эта функция определяет вероятность того, что случайная величина по результатам единичного наблюдения примет значение меньше или равное заданному. Построением эмпирических функций распределения обеспечивается не только экономичность описания, но и контроль априорных генетических построений.

Вопрос о соответствии эмпирического распределения тому или иному теоретическому никогда не решается однозначно. Можно говорить лишь о большем или меньшем сходстве, о непротиворечивости наблюдаемых данных теоретической модели. При этом достаточно обычной оказывается ситуация, когда эмпирические распределения в равной мере согласуются сразу с несколькими теоретическими законами. Это обстоятельство не лишает смысла задачу установления сходства между распределениями, ибо от этого зависит, в частности, процедура оценивания средних значений и дисперсии измеряемых величин.

При анализе эмпирических распределений исключительную роль играет теоретическая модель так называемого нормального распределения, поскольку значительная часть статистической теории разработана применительно к этому типу распределения. Известно, что среднее арифметическое вне зависимости от типа распределения не содержит систематической ошибки. Вместе с тем эта оценка оказывается эффективной (характеризуется минимальной дисперсией при фиксированном числе наблюдений) только в условиях нормального или не слишком уклоняющегося от него распределения. В условиях логнормального распределения, в частности, как показал Д. А. Родионов [363], целесообразно (особенно при небольшом числе наблюдений) использовать вместо среднего арифметического оценку, предложенную Дж. Ачисоном и Дж. Брауном. По аналогичным соображениям в тех же условиях для оценки дисперсии следует использовать максимально правдоподобную оценку, которую можно найти в книге Д. А. Родионова [363].

Изучение функций распределения необходимо также для корректного сравнения средних и дисперсий. Эти сравнения, сводимые к проверке статистических гипотез, предполагают использование различных критериев в зависимости от типа распределения.

Нередко приходится учитывать изменения той или иной характеристики по профилю или на площади. Это могут быть вариации крупности и окатанности зерен кварца в россыпях, что представляет интерес при поисках коренных источников золота, или распределение малых элементов в гранитном массиве, где предполагаются зоны гидротермально измененных пород, и т. п. Во всех этих случаях возникает необходимость как-то разделять изменчивость изучаемых характеристик с выделением того, что в условиях конкретной задачи можно считать систематической и случайной компонентами изменчивости. Иногда подобные задачи формулируются в терминах разделения региональной и локальной составляющих, иногда как выделение аномалий на «нормальном» фоне. Техническая сторона дела от этого не меняется.

В тех случаях, когда из каких-то априорных соображений геолог считает, что на соотношение между систематической и случайной (региональной и локальной) составляющими в каждой точке оказывает влияние лишь ситуация в каких-то ближайших ее окрестностях, а не в пределах всей изучаемой площади, используются разнообразные приемы сглаживания. Простейший из них, дающий во многих случаях вполне удовлетворительные результаты, — метод скользящего среднего. Результаты его применения показаны на рис. 77, заимствованном из работы У. Крамбеяна (1956 г.).

При отсутствии ограничений, указанных выше, вместо сглаживания вычисляют аналитические поверхности, которые после работ Р. Л. Миллера (1956 г.) получили название тренд-поверхностей. В настоящее время в распоряжении геологов имеется разнообразный арсенал технических приемов построения таких поверхностей. Накоплен значительный опыт интерпретации получаемых при этом результатов.

Большинство геологов сходится на том, что выбор вида аналитической функции должен определяться характером геологического материала. На практике, однако, предпочитают аппроксимацию полиномами либо, вслед за А. Б. Вистелиусом, с помощью экспонент. Предпочтение последнему может быть отдано во всех тех случаях, когда изучаемая характеристика в принципе не может принимать отрицательных значений.

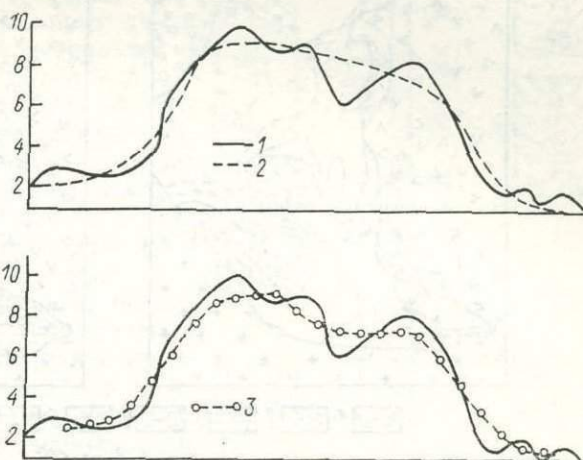


Рис. 77. Результаты сглаживания эмпирической кривой.

1 — исходный профиль; 2 — сглаженный на глаз; 3 — сглаженный при помощи скользящей средней по интервалу 5 единиц.

Вопрос о выборе степени полинома решается с учетом существа поставленной задачи, и в частности принимается во внимание необходимость учета той или иной доли общей изменчивости признака. В. Е. Гендлер и его коллеги (1968 г.) следующим образом обобщают свой опыт использования тренд-анализа для изучения особенностей строения и состава гранитных массивов: «Поверхности пятого порядка достаточно хорошо отражают сравнительно мелкие особенности строения массивов. Ими обрисовываются отдельные купола и провесы кровли, причем появляется возможность уточнить фациальные границы между отдельными разновидностями пород. Поверхности второго порядка обнаруживают существенную сходимость с общими контурами массива и имеют значительную ценность для геолога, позволяя с большим основанием проводить анализ общей формы поверхности интрузива и отделять мелкие неправильности, вызванные случайностью эрозионного среза. Еще более существенные данные дают поверхности первого порядка. Ими выявляются наиболее общие тенденции содержания отдельных компонентов в пространстве. Анализируя эти поверхности, можно получить данные о направлении перемещения магмы при занятии ею камеры интрузивного тела и проходивших при этом процессах поглощения вмещающих пород и гибридизма».

Интересный опыт картирования структуры исходных осадочных пород путем изучения особенностей состава замещивших их гранитов получен Е. Х. Т. Уиттенем (1960 г.). Этот исследователь строил тренд-поверхность по значениям отношения содержания калиевого полевого шпата к плагиоклазу. Положительные аномалии этой величины — отклонения от полиномиальной поверхности второго порядка — выявили

ядро антиклинальной структуры, сложенной наиболее древними породами, относящимися к группе Минейтоутен (рис. 78). Контроль интерпретации результатов тренд-анализа осуществлялся картированием «просвечивающей» структуры по ксенолитам осадочных пород среди гранитов (рис. 78, б). В этом примере геологический интерес представляла не систематическая, а случайная компонента. Для ее нахождения иногда, по предложению Е. Х. Т. Уиттена, вычисляют разность между тренд-поверхностями разного порядка, например пятого и второго. Тогда же, когда «случайную» составляющую отождествляют с влиянием

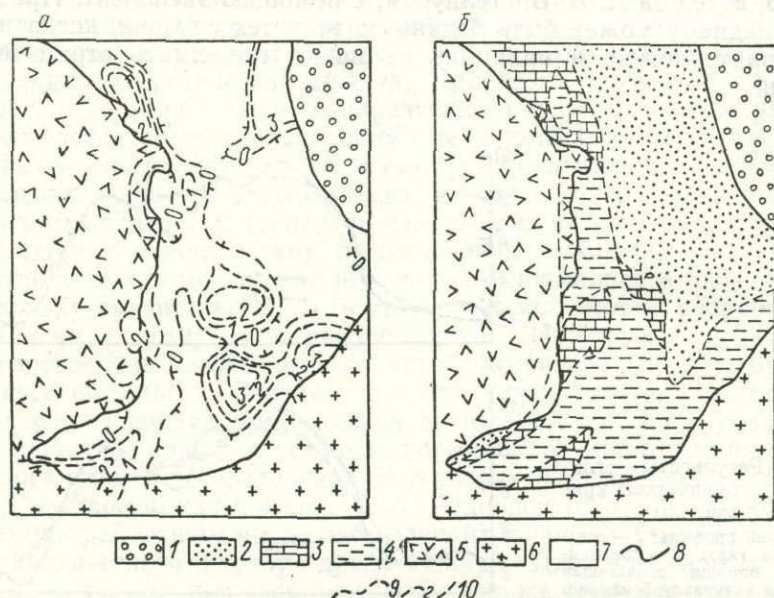


Рис. 78. Сопоставление изолиний отношения полевых шпатов в гранитах (а) с «просвечивающей» стратиграфией исходных пород (б), по Е. Х. Т. Уиттену (1960 г.).

1 — кварциты Крокатор; 2 — пелиты Торр; 3 — известняки Лаф-Эйне; 4 — группа Минейтоутен; 5 — граниты Розес; 6 — граниты Мэн; 7 — древние граниты Донегол; 8 — контур массива Донегол; 9 — контуры элементов «просвечивающей» стратиграфии; 10 — локальные повышения отношения калиевых полевых шпатов к плагиоклазу (в условных единицах).

несущественных факторов (ошибки измерения), критерием для ее выделения, по мнению А. Б. Вистелиуса, может служить нормальность ее распределения и некоррелированность с систематической составляющей.

Иногда бывает известно, что изучаемая переменная может обнаруживать периодические колебания. Так может вести себя, например, состав рыхлых отложений над складчатыми толщами или палеоруслами речной системы. В этой ситуации в качестве аналитической поверхности могут быть использованы гармонические ряды Фурье.

Широкий круг методов и приемов изучения изменчивости геологических характеристик на площади рассмотрен в книге Н. Н. Боровко [38]. Названный автор приводит интересные примеры использования тренд-анализа для изучения эволюции геологических структур, для вычисления мер сходства структурных планов и т. п. На рис. 79, заимствованном из работы Д. Ф. Мериама и Р. Х. Липперта (1966 г.), показано выделение структурного несогласия по резкому изменению характера тренд-поверхностей, построенных по положению кровли семи маркирующих стратиграфических горизонтов между кровлей формации Стаун-Коррел (А) и подошвой формации Барнстаун (Ж) в пределах Северо-Западного Канзаса.

При интерпретации тренд-поверхностей желательнее возможно более полно учитывать всю сопутствующую геологическую информацию. На рис. 80, заимствованном из работы И. Н. Томсона и др. (1975 г.), представлен тренд магнезиальности $Mg/(FeO+0.9Fe_2O_3)$ юрских эффузивов Восточного Забайкалья. Авторы этой работы, учитывая отчетливый рост магнезиальности в восточном и юго-восточном направлении, пришли к выводу о том, что в этом же направлении увеличивалась глубина выплавления базальтоидной магмы. Заслуживает внимания, однако, другое объяснение выявленного тренда, основанное на учете соответствующей тенденции изменения площади, занятой эффузивами. Поскольку в данном случае нет оснований объяснять распространенность рассматриваемых пород только разной степенью эродированности территории, мы приходим к выводу о том, что рост магнезиальности мантийных выплавов шел параллельно с увеличением их массовости. Это обстоятельство заставляет предполагать, что наблюдаемый тренд магнезиальности определяется не увеличением глубины выплавления магмы, а возрастанием полноты плавления мантийного субстрата в условиях более высоких температур.

При описании геологических объектов наряду с оценкой средних значений их характеристик важно получить представление о характере и силе связи между ними. В зависимости от вида учитываемых характеристик (качественных, ранговых, дискретно распределенных и т. д.), а также от априорных представлений о типе связи (степени ее линейности) используются различные технические приемы для ее измерения.

Весьма распространенным способом регистрации связи между двумя признаками является построение точечных диаграмм. К числу простейших, но хорошо зарекомендовавших себя приемов анализа подобных диаграмм относится метод «дробового выстрела». Его использование уместно при операции с данными, характер распределения которых существенно уклоняется от нормального, например с результатами полуколичественного спектрального анализа. Поле значений признаков (рис. 81) делится медианами на четыре квадранта. Далее вычисляется тетрагорический показатель Бломквиста $|q| = (n_1 - n_2) / (n_1 + n_2)$, где n_1 — число точек, попавших в первый и третий квадранты, n_2 — во второй и четвертый. Описание процедуры проверки существенности вычисленного таким путем показателя связи можно найти в работе В. Н. Бондаренко [37]. Рекомендованное А. Б. Вистелиусом (1964 г.) использование в подобных ситуациях информационного коэффициента корреляции вряд ли оправдано, поскольку в отличие от рассмотренного показателя он не допускает оценку его статистической значимости.

Для анализа связи между качественными признаками можно использовать коэффициент коллигации Юла и Кендела, коэффициент ассоциации Юла, коэффициент сопряженности Чупрова и другие индикаторы корреляции, описание которых можно найти в книге И. П. Шапарова [461]. Выявление связи между признаками, которые не подда-

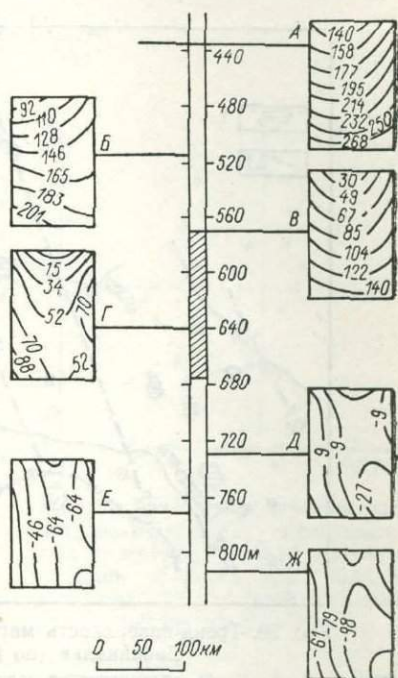


Рис. 79. Выделение структурного несогласия по изменению в очертании поверхностей тренда.

ются строгой количественной оценке, но которые тем не менее можно ранжировать, осуществляется с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена, примеры использования которого даны в книге В. Н. Бондаренко [37].

Наилучшим индикатором линейной связи между количественными нормально распределенными признаками является общий парный коэффициент корреляции. Следует иметь в виду, что существенное отклонение от нормальности влечет за собой заметное уменьшение мощности t_{xy} -критерия, используемого при проверке гипотезы об отсутствии связи. Это может привести к ошибочному выводу об отсутствии связи, в то

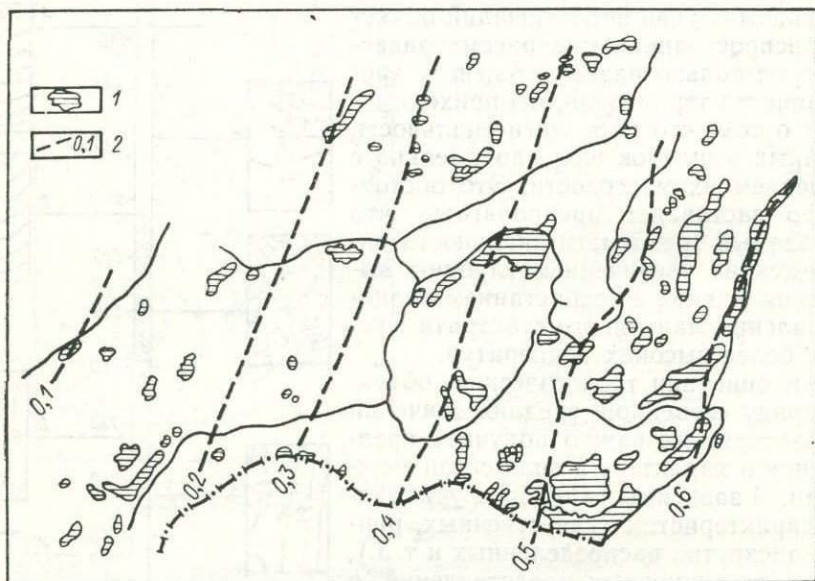


Рис. 80. Тренд-поверхность магnezиальности юрских эффузивов Восточного Забайкалья (по И. Н. Томсону и др., 1975 г.).

1 — вулканические поля; 2 — изолинии $MgO/(FeO+0,9 Fe_2O_3)$.

время как она достаточно существенна. При логнормальном распределении изучаемых характеристик проверку их коррелированности, как показал Д. А. Родионов [363], следует заменить аналогичной операцией с логарифмами этих характеристик.

Нередко геологу приходится оценивать корреляцию между величинами, выраженными в процентах. В этом случае следует иметь в виду, что коэффициент корреляции между процентными величинами не является состоятельной оценкой корреляции исходных величин. С учетом существа решаемой задачи иногда может потребоваться исключение влияния процентного пересчета, для чего используются различные приемы. Для петрохимических данных, в частности, А. Б. Вистелиусом рекомендовано деление процентных содержаний каждого из окислов на процентное содержание какого-либо постоянного компонента, каковым в изверженных горных породах является кислород. Низкое или даже равное нулю значение общего парного коэффициента корреляции еще не означает отсутствия какой бы то ни было связи между переменными. Она может оказаться весьма сильной, но иметь нелинейный характер. О последнем позволяет судить критерий криволинейности связи. Для оценки такого рода связи используется корреляционное отношение.

В тех случаях, когда имеется основание предполагать зависимость интересующего нас признака одновременно от нескольких других признаков, практикуется вычисление сводного коэффициента корреляции R .

В простейшем случае зависимость переменной x и y , выраженная через оценки общих парных коэффициентов корреляции, имеет вид:

$$R = + \sqrt{\frac{r_{xz}^2 - 2r_{xy}r_{xz}r_{yz} + r_{yz}^2}{1 - r_{xy}^2}}$$

Довольно часто геолога интересует оценка связи между двумя переменными при исключении влияния некоторых других переменных. Такую оценку можно получить путем вычисления частных коэффициентов корреляции. В простейшем случае связь переменных z и x при фиксированном влиянии y определяется по формуле

$$r_{zx.y} = \frac{r_{zx} - r_{zy}r_{xy}}{\sqrt{(1 - r_{zy}^2)(1 - r_{xy}^2)}}$$

Значение этого приема при обработке геохимических данных иллюстрирует следующий пример, заимствованный из работ Ю. К. Буркова и Н. М. Задорожной. По результатам спектрального анализа карбонатных пород была выявлена сильная положительная корреляционная связь между многими микроэлементами, включая такие, геохимические свойства которых весьма несхожи, в частности между цирконием и кобальтом: $r_{Zr-Co} = +0,66$. Проводившееся одновременно определение количества нерастворимого остатка (н) в породах позволило изучить связи между этой характеристикой и концентрацией микрокомпонентов. Связь во всех случаях оказалась положительной, в частности $r_{Zr-н} = +0,92$, а $r_{Co-н} = +0,75$. Это дало основание предполагать, что колебания концентрации ряда микрокомпонентов в карбонатных породах определяются в основном вариациями количества кластического материала, фиксируемого в виде нерастворимого остатка, а также что внутренние связи микрокомпонентов также преимущественно индуцированы этой же причиной. Проверка этого предположения осуществлялась вычислением частного коэффициента корреляции между цирконием и кобальтом при фиксированном влиянии количества нерастворимого остатка. Она, как и следовало ожидать, выявила слабую отрицательную связь между этими компонентами.

Важной разновидностью корреляционного анализа является вычисление сериальной корреляции, или, иначе, автокорреляции. Эта процедура используется для оценки взаимной зависимости между соседними значениями какого-либо признака во временных или пространственных рядах наблюдений. Объектами исследования часто оказываются разрезы осадочных толщ, результаты опробования рудных тел и т. п.

Техника измерений сводится к последовательному вычислению серии коэффициентов корреляции (или иных индикаторов связи) вначале между смежными парами наблюдений, затем через один, через два интервала наблюдений и т. д. По этим данным строится коррелограмма, показывающая изменение степени связности данных по мере увеличения расстояния между ними.

В качестве примера приведем коррелограмму, полученную Ф. Артербергом (1965 г.) при анализе результатов опробования на титан анортозитового комплекса Блэк-Кагоу в Калифорнии (рис. 82). Эта коррелограмма позволила выбрать оптимальный интервал опробова-

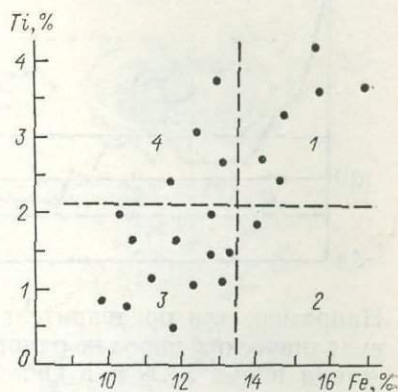


Рис. 81. Точечная диаграмма распределения результатов спектральных определений титана и железа в одном из расслоенных габбровых массивов Алтае-Саянской складчатой области.

ния L , при котором взаимное влияние смежных проб уже практически не сказывается (коэффициент автокорреляции близок к нулю).

Очень часто геологи сталкиваются с необходимостью оценивать значение некоторых характеристик на основании замеров каких-то других признаков. Обычно это вызывается теми или иными трудностями выполнения непосредственных измерений (пропуски данных, стоимость анализа и т. д.). В такой ситуации неоценимую помощь оказывают разнообразные приемы регрессионного анализа, т. е. вычисление зависимостей типа

$$z = a + bx + cx^2 + dy + ey^2 + \dots$$

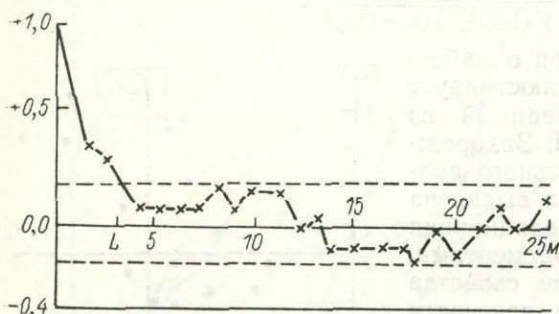


Рис. 82. Коррелограмма по результатам опробования на титан аноксидного комплекса Блэк-Кагоу (по Ф. Агтербергу, 1965 г.)

Например, для предварительной оценки концентрации цезия в кислых вулканических породах одного из районов Сибири по данным о содержании в них SiO_2 и K_2O использовалась линейная регрессия

$$\text{Cs} (\%) = 0,0001 + 0,0002\text{SiO}_2 + 0,0005\text{K}_2\text{O}.$$

Различают линейные, квадратные, кубические и другие регрессии одного аргумента, множественные регрессии различного вида. Аналогом частной корреляции является так называемая чистая регрессия, дающая возможность оценивать значение интересующей характеристики при фиксированном влиянии некоторой части учитываемых переменных. Выбор того или иного вида регрессии определяется априорными представлениями о характере изучаемых соотношений и требуемой точностью оценки зависимой переменной. Частным случаем регрессионного анализа, когда в качестве аргумента выступают географические координаты, является уже упоминавшееся ранее построение тренд-поверхностей. С достаточной подробностью вопросы регрессионного анализа рассматриваются в книге У. Крамбейна и Ф. Грейбилла [213].

До сих пор мы рассматривали простейшие связи между небольшим числом признаков. Между тем развитие «индустрии интеллекта» — современных электронно-вычислительных средств — уже привело к тому, что геологи получили реальную возможность в рамках рядового исследования оперировать сотнями разнотипных характеристик объектов и соответственно десятками тысяч показателей связи между ними. Эта ситуация требует обращения к специальным приемам анализа систем связи, задаваемых обычно в виде корреляционных матриц большой размерности.

Простейшие методы, ориентированные преимущественно на графическое представление результатов, такие как метод ветвящихся связей и др., рассмотрены в книге Р. Л. Миллера и Дж. С. Кана [280]. Эти методы призваны выявлять иерархию связей, что позволяет выделять ассоциации признаков и объектов.

В тех случаях, когда исследователя интересует анализ какой-либо одной априори доминирующей тенденции изменчивости признаков, может использоваться хорошо зарекомендовавший себя метод многократ-

ной корреляции Ю. К. Буркова. На рис. 83, заимствованном из работы Е. В. Тугановой и Ю. К. Буркова (1972 г.), показаны геохимические формулы, полученные с помощью метода многократной корреляции. Обращают на себя внимание принципиальные отличия в структуре связей рудных и породообразующих компонентов в породах рудоносного норильского интрузивного комплекса от того, что установлено в безрудном кузьмовском комплексе. Для первого характерна тенденция обособления рудных компонентов, вторым свойственна их связь с Са, Мо, Fe и другими породообразующими окислами.

Наиболее эффективным и универсальным средством изучения и описания сложных систем связей является факторный анализ и в первую очередь его модификация — метод главных компонент. В основе использования факторного анализа лежит представление о том, что из-

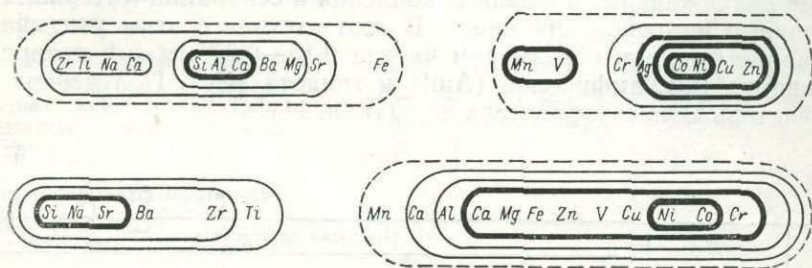


Рис. 83. Ассоциации химических элементов в породах рудоносного норильского (вверху) и кузьмовского интрузивных комплексов (по Е. В. Тугановой и Ю. К. Буркову, 1972 г.).

менчивость большого числа наблюдаемых переменных отражает суммарный результат влияния некоторых более общих характеристик — факторов, число которых много меньше числа измеряемых переменных. Геологический смысл факторов, являющихся линейной комбинацией исходных переменных, выясняется в процессе их интерпретации.

Различают несколько вариантов факторного анализа в зависимости от того, в каком виде представлена исходная информация (коэффициенты корреляции, ковариации или иные меры связи между переменными), а также с учетом особенностей структуры и соотношения новых переменных (ортогональное или косоугольное преобразование).

С помощью факторного анализа решаются разные типы задач. Прежде всего факторный анализ можно рассматривать как мощный инструмент свертки информации: исследователь получает возможность вместо многих десятков исходных переменных учитывать три-четыре новые переменные с достаточной полнотой характеризующие изучаемые объекты. Это бывает необходимо для решения некоторых прикладных задач, в частности связанных с диагностическими процедурами. Иногда к факторному анализу прибегают с целью получить систему некоррелированных переменных. Дело в том, что некоторые статистические алгоритмы разработаны в предположении, что изучаемые переменные независимы или слабо коррелированы между собой.

Наиболее часто геологи используют факторный анализ как средство выявления эмпирических закономерностей. Доставляемые им сведения о соотношениях между переменными стимулируют построение содержательных геологических моделей, а это, в свою очередь, способствует планированию последующих исследований. Наконец еще одно, едва ли не самое важное назначение факторного анализа — его использование в качестве средства проверки геологических гипотез. Такая возможность определяется тем, что геолог, анализируя результаты фактор-

ного анализа, неизбежно опирается на имеющийся в его распоряжении багаж предшествующего знания. Этот багаж в том или ином виде содержит широкий спектр генетических построений — петрологических, литологических и др. С учетом того, что только некоторые генетические схемы хорошо согласуются с эмпирическими соотношениями, геолог имеет возможность значительно сократить область допустимых гипотез. Существенно, что конкурирующие модели не всегда исключаются из рассмотрения. Нередко они учитываются как дополнительные источники изменчивости системы.

В качестве примера использования факторного анализа для контроля генетических представлений приведем результаты изучения изменчивости состава современных песков Заунгузских Каракумов, полученные А. Б. Вистелиусом и М. А. Романовой (1969 г.). Из общих соображений авторы предполагали, что на состав песков могут оказывать влияние как локальные условия накопления и сепарации материала, так и различные источники его сноса. В соответствии с этим учитывалось содержание фракции с размером частиц 0,15—0,21 мм — f , ставролита (St), кварца (Q), амфиболов (Amf) и эпидота (Ep). Полученная матрица факторных нагрузок имела вид (табл. 11).

Таблица 11
Результаты факторного анализа

Номер фактора	Вес фактора	Нагрузки на переменные				
		f	St	Q	Amf	Ep
I	45,1	+0,6	+0,4	-0,5	+0,8	+0,9
II	26,6	-0,5	-0,7	-0,6	+0,4	+0,1

Интерпретация этих данных позволила авторам сделать следующие выводы. «Наибольшую роль в формировании минеральной ассоциации играет фактор, который обогащает ассоциацию тяжелыми частицами и подавляет вхождение в нее легких минералов (кварца). Кажется возможным полагать, что это фактор, определяющий локальную динамическую обстановку. Значительно меньший вес имеет фактор, разобщающий ассоциацию на группу компонентов, происходящих с севера (Кызылкум), и группу компонентов (эпидот, роговые обманки), которые связаны с молодыми геосинклинальными областями Тэтиса. Последние отстоят значительно дальше от Заунгузья, чем Кызылкум с метаморфическими толщами и обилием кварцсодержащих пород. Таким образом, картина, вызываемая вторым по своему значению фактором, интерпретируется в терминах подачи материала из области питания. Отмеченные два фактора ответственны более чем за две трети причин, определявших состав минеральных ассоциаций современных песков Заунгузского района». Как видим, результаты факторного анализа оказались в хорошем согласии с априорно сформулированными предположениями и, более того, позволили их конкретизировать.

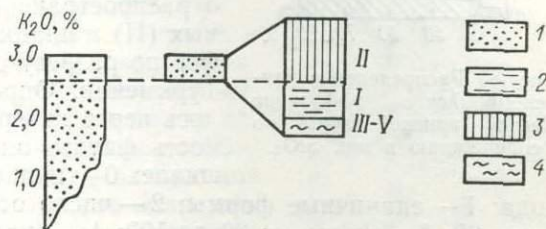
Наряду с оценкой вкладов факторов в общую изменчивость системы (веса факторов) имеется возможность вычислить их вклады в изменчивость каждой исходной переменной. Проиллюстрируем это на конкретном примере. При изучении средне-позднекембрийского габбро-плагиогранитового таннуольского комплекса (Тува) было вычислено среднее содержание калия в гранитоидах. Оно оказалось равным ~3,0%, что несколько выше (на 0,4%) среднего для аналогичных пород, слагающих фанерозойские интрузивные комплексы указанного типа.

Возникает вопрос, за счет каких причин возникла указанная специализация таннуольского комплекса. Ответ на него был получен в результате факторного анализа, проведенного для совокупности хорошо изученных гранитоидных комплексов указанного типа. При этом помимо состава и возраста пород учитывались геофизические характеристики глубинного строения соответствующих интрузивных ареалов.

На рис. 84 в наглядной форме показано, из чего складывается измеренное «избыточное» содержание калия в породах. I фактор, отражающий эволюционную тенденцию, дает отрицательный вклад, что соответствует в целом пониженной калиевости более древних магматических образований, и в частности кембрийского таннуольского комплекса. II фактор, определяемой мощностью (сиаличностью) земной коры, т. е. общей кислотностью среды магмообразования, вносит большой положительный вклад. Это естественно, поскольку в изучаемом районе Алтае-

Рис. 84. Разложение по факторам уклонений от средних значений концентрации K_2O в гранитоидах таннуольского интрузивного комплекса.

1 — измеренное содержание K_2O в породах; 2 — вычисленный вклад I фактора; 3 — то же, II фактора; 4 — суммарный вклад остальных неинтерпретированных факторов.



Саянской области мощность континентальной коры превышает 45 км. Алгебраическая сумма вкладов указанных факторов, определяющих в совокупности приблизительно 60% изменчивости системы, дает небольшой положительный эффект, что хорошо согласуется с вычисленным значением.

Рассмотренный прием можно использовать как эффективное средство преодоления конвергенции в наблюдаемых значениях признаков геологических объектов. Измеренные значения предстают как суммарный итог разнотипных и разнонаправленных влияний, каждое из которых количественно оценивается в рамках интерпретации факторной структуры. Подчеркнем еще один важный аспект использования данного приема. Его можно трактовать как средство углубленного изучения природы единичного объекта на основе использования и значения о многих других ему подобных объектах.

РАСЧЛЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

При анализе результатов описания геологических объектов нередко возникают сомнения в отношении их однородности, понимаемой в статистическом смысле. Признаком неоднородности является полимодальность или в частном случае бимодальность эмпирических распределений признаков. На рис. 85 показано полученное В. В. Грузой [1] распределение раннекембрийских эффузивов Северо-Саянской зоны по содержанию в них SiO_2 . Распределение отчетливо бимодальное. Для более уверенного заключения о неоднородности указанных образований автор помимо кремнезема учел дополнительно данные о содержании в породах магния и железа. Простейшим графическим приемом было построено распределение тех же пород по значениям функции $f(SiO_2, MgO, FeO + Fe_2O_3) = 0,1SiO_2 - 0,5MgO - 0,71(FeO + Fe_2O_3)$.

Как видим (рис. 86), исходное множество пород распалось на два непересекающихся подмножества. Высокие значения функции соответствуют кератофирам и вейльбургитам, низкие — диабазам, спилитам и

спилитовым порфирирам. Полученный результат позволил В. В. Грузе обосновать вывод о малой вероятности формирования кислых эффузивов в результате процесса непрерывной дифференциации базальтовой магмы.

Методы разделения неоднородных совокупностей на однородные при одновременном учете многих признаков рассмотрены в книге Д. А. Родионова [362]. Важным частным случаем является разграничение линейно-упорядоченных совокупностей. С такой задачей геолог сталкивается при изучении и расчленении разрезов осадочных толщ. В упомянутой книге Д. А. Родионова дано описание оригинального алгоритма для выполнения указанной операции с помощью ЭВМ. В табл. 12, заимствованной из этой книги, приведены данные о распространенности песчаных (I), бентонных (II) и планктонных (III) форм фораминифер по разрезу одной из скважин в Западной Туркмении. Опробование скважины проводилось через интервал 5—10 м. Распространенность фауны оценивалась по шестибальной шкале: 0 — полное отсутствие особей данного

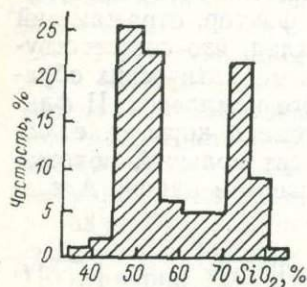


Рис. 85 Распределение раннекембрийских эффузивов Северо-Саянской зоны по содержанию в них SiO_2 .

вида; 1 — единичные формы; 2 — число особей данного вида не превышает 20; 3 — то же, от 20 до 100; 4 — число особей порядка нескольких сотен; 5 — фауна образца представлена почти полностью особями данного вида. Рассмотрение таблицы сразу же приводит к выводу о существ-

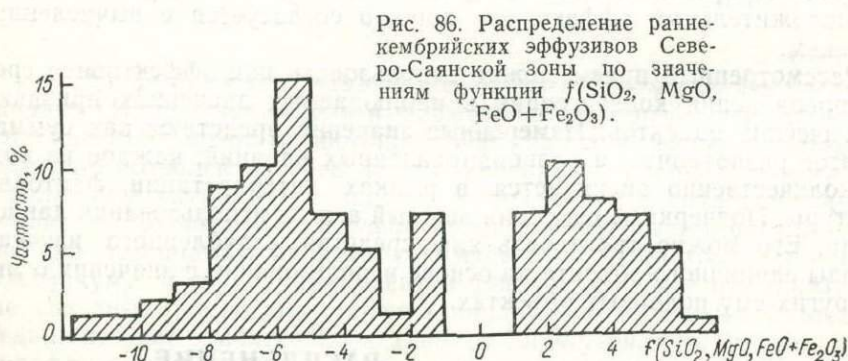


Рис. 86. Распределение раннекембрийских эффузивов Северо-Саянской зоны по значениям функции $f(\text{SiO}_2, \text{MgO}, \text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3)$.

венном изменении комплекса фауны в интервалах между интервалами 4 и 5, а также между 24 и 25.

Однако, как отмечает Д. А. Родионов, вынести однозначное решение относительно однородности или неоднородности данных в интервале между образцами 5 и 24 без использования специальной статистической процедуры практически невозможно. Иллюстрируя возможности предложенного им алгоритма, автор обосновывает существование в указанном интервале еще двух границ — между образцами 9 и 10, а также между 13 и 14. Таким образом, в результате статистического расчленения разреза скважины выделилось пять интервалов, однородных по количественному соотношению между песчаными, бентосными и планктонными фораминиферами. Каждый из этих интервалов можно рассматривать как соответствующий стабильному этапу существования фациальных условий в бассейне.

Некоторые исследователи неоднократно предпринимали в целом неудачные попытки использовать алгоритм Д. А. Родионова для выделения неких устойчивых, повторяющихся ассоциаций осадочных пород — парагенераций. Эти неудачи отчасти определялись недоучетом того, что и количество находимых таким путем границ и, следовательно, содержание парагенераций существенным образом зависят не только от априорно выбираемого уровня значимости, но и от того, какая часть общего разреза подвергалась расчленению. Иначе говоря, результаты расчленения данного участка разреза при прочих равных условиях зависят от того, учитывались ли при этом данные по смежным участкам.

При разделении совокупности изучаемых объектов на пересекающиеся классы с учетом изменчивости многих признаков геолог обычно опирается на полуинтуитивное представление о существовании неких «естественных» сгущений и разрежений в пространстве учитываемых признаков. В такой ситуации определенную помощь могут оказать методы эмпирической или, как их теперь часто называют, автоматической классификации. Разнообразие существующих алгоритмов эмпирической классификации определяется различиями в подходах их авторов к решению трех технических вопросов: выбора характеристики сходства между объектами, выбора критерия группирования и определения оптимальной технологической схемы, облегчающей (делающей реальной) вычислительную процедуру.

Наиболее часто в качестве меры сходства используется величина, обратная евклидову расстоянию, для непрерывных признаков и расстоянию по Хеммингу — для альтернативных. Особенностью евклидова расстояния является его сильная зависимость от масштаба признаков. В связи с этим при разномасштабных признаках следует отдать предпочтение коэффициенту подобия, зависящему от угла между векторами.

К числу широко используемых критериев группирования относится «правило ближайшего соседа». Согласно этому правилу, любые расстояния между объектами, попадающими в одну группу, должны быть меньше минимального расстояния между объектами из разных групп. Недостатком этого критерия является «цепной эффект», заключающийся в возможности резкого изменения всей классификационной структуры из-за небольших изменений исходных данных.

Более сильным критерием является «правило наиотдаленного соседа», согласно которому самое большое расстояние внутри группы должно быть меньше наименьшего расстояния между группами. Его недостатком является тенденция к выделению большого числа малочисленных групп, что определяется зависимостью меры межгруппового различия от размера групп.

В последнее время предложены весьма эффективные критерии типа парагруппового критерия и Е-критерия В. Н. Елкиной и Н. Г. Загоруйко, лишенные недостатков, свойственных упомянутым выше и им

Таблица 12
Распространенность
фораминифер в разрезе
скв. 246 (Западная
Туркмения)

Номер интервала	- Распространенность фораминифер разных видов		
	I	II	III
1	0	1	0
2	0	2	0
3	0	4	0
4	0	4	0
5	3	7	0
6	4	9	1
7	2	5	0
8	4	10	1
9	3	6	0
10	5	13	0
11	6	15	0
12	6	17	2
13	7	13	2
14	3	17	1
15	3	20	2
16	4	17	2
17	4	16	3
18	6	26	3
19	5	37	3
20	5	31	4
21	6	27	1
22	3	18	5
23	4	13	2
24	4	20	9
25	0	0	5
26	0	10	7
27	1	6	0
28	2	1	2

подобным критериям. Во всех случаях поэтому резонно отдавать предпочтение тем алгоритмам классификации, которые учитывают современные критерии, в частности парагрупповому алгоритму Р. Б. Макэммона и Дж. Веннингера.

В зависимости от особенностей «технологии» группирования различают неиерархические и иерархические алгоритмы классификации. В алгоритмах первого типа с самого начала осуществляется выбор всех типичных представителей каждой группы объектов. Эти алгоритмы хороши, когда исследователю заранее известно число выделяемых групп. В противном случае требуются дополнительные, подчас доста-

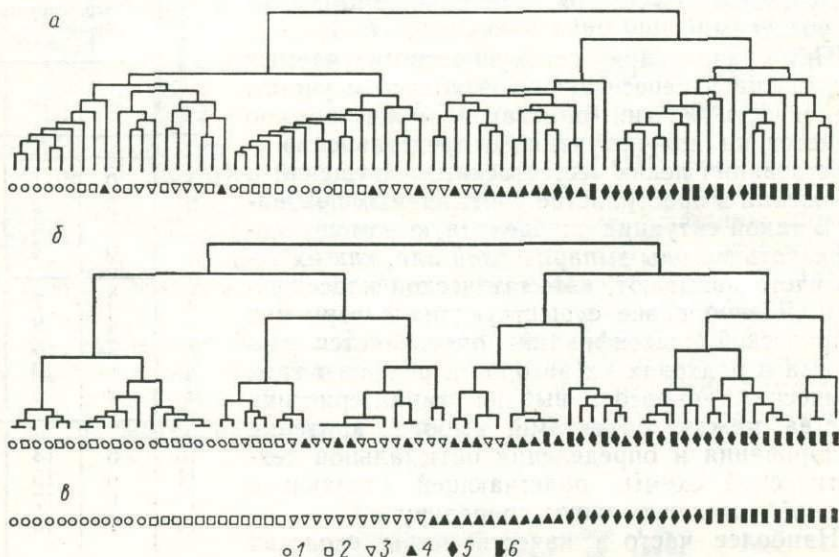


Рис. 87. Результаты классификации пород по петрохимическим данным.
1 — габбро; 2 — габбро-диорит; 3 — диорит; 4 — кварцевый диорит; 5 — гранодиорит;
6 — плагιοгранит.

точно сложные, процедуры. обстоятельный обзор неиерархических алгоритмов дан в работе А. А. Дорофеюка (1971 г.). В иерархических алгоритмах группы объектов формируются путем последовательного подсоединения новых объектов к ранее образованным группам. Результаты группирования обычно представляются в виде двумерных диаграмм — дендрографов, отражающих взаимоотношение объектов как внутри групп, так и между группами.

Обращаясь к тому или иному алгоритму эмпирической классификации, исследователь должен помнить о том, что результаты группирования объектов существеннейшим образом зависят от выбора исходных признаков. Классификация без предварительной фильтрации («с учетом всех особенностей объектов», «на базе всесторонней характеристики явления») дает неконтролируемые результаты. Более того, даже тщательная селекция признаков не всегда приводит к однозначно интерпретируемым дендрографам. Все это заставляет считать методы эмпирической классификации сугубо вспомогательной процедурой, эффективность которой во многом зависит от четкости априорных интуитивных представлений о структуре изучаемого множества объектов.

В качестве иллюстрации сильной зависимости результатов классификации от набора признаков рассмотрим парагрупповой дендрограф, полученный Л. Н. Дуденко и И. И. Абрамовичем (1975 г.) при классификации петрографических разновидностей пород ольховского интруз-

зивного комплекса Восточного Саяна по петрохимическим данным. Учет всего стандартного набора петрогенных окислов приводит к существенным уклонениям в группировке пород от того, что следовало ждать, принимая во внимание их ранжировку в генетической серии (рис. 87, а). Значительно более полного соответствия можно добиться сокращая признаковое пространство путем преобразования исходных переменных по схеме метода главных компонент. Первый фактор (+SiO₂, —TiO₂, —Al₂O₃, —Fe₂O₃, —MgO, —CaO) отвечает доминирующей тенденции магматической дифференциации щелочноземельных серий. Эту же тенденцию, по существу, отражает рассматриваемая серия пород: габбро — габбро-диорит — диорит — кварцевый диорит — гранодиорит — плагиогранит. В связи с этим классификация по значениям первого фактора (рис. 87, б) наиболее полно соответствует исходной «естественной» группировке пород (рис. 87, в). Классификация по всем остальным факторам порознь и в различных комбинациях дает резко отличающуюся картину. Таким образом, рассмотренный пример свидетельствует о перспективности преобразования исходных переменных методом главных компонент с последующим отбором тех из них, которые в наибольшей степени обеспечивают целевую группировку объектов.

Наряду с рассмотренным имеется еще один аспект использования факторного преобразования в классификационных целях. Он связан с анализом положения изучаемых объектов в факторных координатах. При этом в ряде случаев существенно облегчается процедура осмысления классификации. На рис. 88, заимствованном из работы М. П. Орловой, И. Г. Клушина и И. И. Абрамовича, показано размещение крупных флогопит-вермикулитовых месторождений и рудопроявлений, связанных со щелочно-ультраосновными карбонатитовыми интрузиями, в пространстве I—V факторов. Обращает на себя внимание неравномерность распределения объектов: как месторождения, так и рудопроявления тяготеют к полю положительных значений I фактора и несколько преобладают в поле отрицательных значений V фактора. В содержательном плане это означает приуроченность флогопит-вермикулитовых месторождений только к варисским и более древним гипербазитовым интрузиям (I фактор), которые локализованы преимущественно в периферических частях кимберлит-щелочно-ультраосновных мегапровинций (V фактор). Эти данные, очевидно, могут использоваться при классификации щелочно-ультраосновных массивов с учетом их рудоносности.

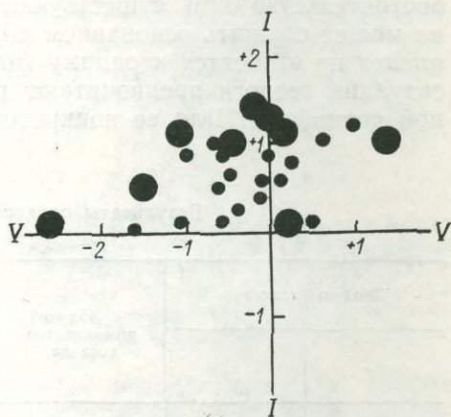


Рис. 88. Положение флогопит-вермикулитовых месторождений (кружки) и рудопроявлений (точки) в пространстве I—V факторов.

ЗАДАЧИ СОПОСТАВЛЕНИЯ И КОРРЕЛЯЦИИ

В основе корреляции разрезов осадочных толщ, прослеживания вулканических покровов и им подобных операций лежит процедура сравнения параметров статистических распределений — средних, дисперсий и т. п. При сравнении одномерных средних используется критерий Стьюдента, а при одновременном учете многих переменных — его ана-

лог T^2 — критерий Хотеллинга. С помощью этого критерия решается вопрос о принадлежности двух сравниваемых выборок случайных векторов одной генеральной совокупности. Следует иметь в виду, что и в этом случае речь идет о совокупности в статистическом смысле, которая с учетом условий эксперимента далеко не всегда совпадает с геологической совокупностью.

Поясним эту мысль на примерах. В табл. 13 приведены результаты проверки гипотезы о равенстве средних векторов состава умеренно кислых гранитоидов таннуольского комплекса Тувы (Т) и бериккульского комплекса Кузнецкого Алатау (КА). Как видим, при учете 11 стандартных компонентов состава вычисленное значение T^2 превосходит граничное значение T_0^2 при 1%-ном уровне значимости. Это обстоятельство при существующей практике формационного анализа не может служить основанием для заключения о том, что эти два комплекса не относятся к одному формационному типу. Обычно в такой ситуации геологи предпочитают говорить о существенности региональной специфики. Для ее конкретизации, т. е. для выяснения, за счет

Таблица 13
Результаты проверки гипотезы о равенстве многомерных средних при различном числе компонентов

Кол-во анализов		Кол-во компонентов состава	Исключенные компоненты (из числа 11 обычных)	T^2 (вычисленный)	T_0^2 (граница критической области)
n_1	n_2				
31	26	11	—	45,84	36,16
		10	Al_2O_3	35,14	32,85
		10	Na_2O	29,44	32,85
		9	Al_2O_3 Na_2O	9,93	29,82

каких именно компонентов состава различаются многомерные средние, следует подсчитать значения T^2 при исключении разных компонентов. Результаты такой процедуры также приведены в табл. 13. Как видим, региональные различия рассматриваемых гранитов Кузнецкого Алатау и Тувы определяются неодинаковым содержанием в них натрия и алюминия.

С рассматриваемых позиций сходство векторов средних составов интрузивных и эффузивных пород не всегда решает вопрос о их комагматичности. Известно, что в некоторых случаях в пользу комагматичности свидетельствуют не только признаки сходства пород, но и вполне закономерные существенные различия между ними.

Иногда в качестве меры относительной близости объектов по совокупности признаков используется обобщенное расстояние Махаланобиса D^2 . На рис. 89 показаны обобщенные расстояния между химическими составами гранитов, входящих в магматические комплексы разной формационной принадлежности. Как видим, расстояния между представителями разных формаций оказываются соизмеримыми с расстояниями между комплексами одной формационной принадлежности.

Для контроля правильности сопоставления (корреляции) разрезов осадочных толщ может быть рекомендован метод перспективной корреляции, предложенный Т. Б. Хейтсом (1963 г.) и получивший развитие в работах С. И. Романовского. Проверка предположения о взаимном соответствии сопоставляемых слоев может осуществляться графическим путем. Для этого на произвольно выбранной прямой, отве-

чающей одному из разрезов, наносят отметки геологических границ, рассматриваемых в качестве корреляционных реперов. Это могут быть, например, отметки кровли маркирующих горизонтов. Аналогичные отметки, соответствующие слоям второго разреза, наносят на параллельную прямую. Далее одноименные отметки соединяют прямыми линиями. При этом могут быть получены различные результаты. Проиллюстрируем их на рис. 90, 91, заимствованных из работы А. Н. Олейникова и С. И. Романовского [320].

1. Все линии пересекаются в одной точке — вертексе, по Т. Б. Хейтсу, что указывает на правомерность корреляции и согласное залегание сопоставляемых слоев (см. рис. 90).

6. Линии сходятся в двух вертексах или более. При этом вертекс более молодых отложений S_2 располагается над вертексом более древних S_1 . Это свидетельствует о несогласном залегании верхней пачки слоев (d, e, f) на нижней (a, b, c), причем углы падения слоев нижней пачки более крутые (см. рис. 91).

Более полное изложение теоретических основ метода, а также опыт интерпретации получаемых с его помощью результатов можно найти в упомянутой работе [320].

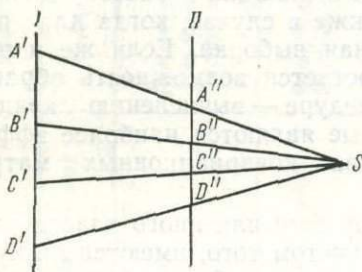


Рис. 90. Контроль корреляции согласно залегающих слоев.

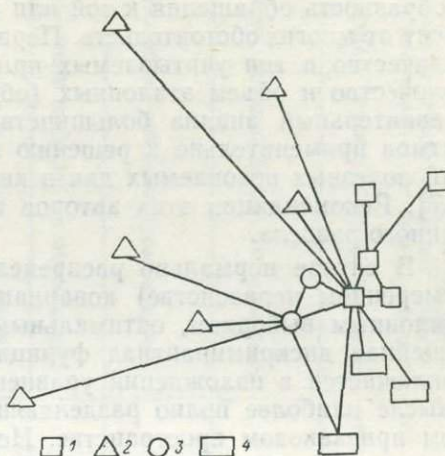


Рис. 89. Обобщенные расстояния между химическими составами гранитов разной формационной принадлежности [1].

Формации: 1 — габбро-плагригранитовая, 2 — диорит-плагригранитовая, 3 — гранит-лейкогранитовая, 4 — аляскитовых гранитов.

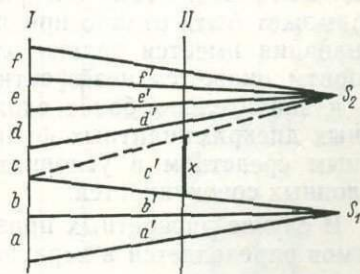


Рис. 91. Несогласное залегание. Углы падения нижней пачки более крутые. x — проекция разности мощностей слоев.

РЕШЕНИЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ ЗАДАЧ

К этому классу задач мы относим помимо прогнозной оценки территории на тот или иной вид полезного ископаемого задачи выделения продуктивных пластов по каротажным диаграммам, разбраковку геофизических и геохимических аномалий и им подобные задачи, связанные с распознаванием и идентификацией геологических объектов по совокупности геологических признаков. Иными словами, здесь речь идет о тех ситуациях, когда геолог вынужден принимать решение, в явном или неявном виде опираясь на метод аналогий.

Для решения такого рода задач в разное время специалистами в области технической кибернетики были предложены многочисленные алгоритмы, в большинстве своем реализуемые с помощью ЭВМ. Целесообразность обращения к той или иной диагностической процедуре зависит от многих обстоятельств. Первостепенное значение при этом имеют количество и тип учитываемых признаков (дискретные, непрерывные), количество и объем эталонных (обучающих) выборок. обстоятельный сравнительный анализ большинства наиболее употребительных алгоритмов применительно к решению задач прогнозирования месторождений полезных ископаемых дан в книге А. Н. Бугайца и Л. Н. Дуденко [47]. Рекомендации этих авторов приняты за основу при составлении данного раздела.

В случае нормально распределенных признаков и при равенстве (умеренном неравенстве) ковариационных матриц, отвечающих двум эталонным выборкам, оптимальным алгоритмом диагностики является линейная дискриминантная функция Фишера. Сущность этого метода заключается в нахождении уравнения гиперплоскости, в определенном смысле наиболее полно разделяющей эталонные выборки в многомерном признаковом пространстве. Неравенство ковариационных матриц делает несколько предпочтительней вычисление линейных дискриминантных функций по методу Андерсона — Бахадура. Практика показывает, что оба эти алгоритма дают приблизительно одинаковые результаты.

Если число диагностируемых классов больше двух, то обычно используют разновидность линейной дискриминантной функции, обоснованную в работах Дж. Паттерсона и др. (1967 г.).

Качество диагностики обычно контролируется вычислением теоретической и эмпирической ошибок. Близость и небольшой процент этих ошибок позволяют считать задачу диагностики решенной. Большие ошибки делают целесообразным обращение к эвристическому алгоритму Ватанабе. Этому алгоритму (его модификация — способу дисперсий) может быть отдано предпочтение также в случае, когда для распознавания имеется только одна эталонная выборка. Если же и этот алгоритм окажется неэффективным, то остается возможность обращения к значительно более сложной процедуре — вычислению квадратичных дискриминантных функций, которые являются наиболее эффективным средством в условиях неравенства ковариационных матриц эталонных совокупностей.

В случае дискретных признаков выбор того или иного класса алгоритмов определяется в первую очередь с учетом того, имеются ли нулевые частоты в распределении признаков и их комбинаций на эталонных объектах. Отсутствие нулевых частот делает возможным обращение к статистико-игровым (вероятностным) схемам диагностики. В противном случае используются эвристические (точнее, детерминистические) алгоритмы. Те и другие алгоритмы далее систематизируются в зависимости от полноты учета коррелированности признаков — ветвящихся связей разного порядка.

Простейший вероятностный алгоритм, работающий в предположении независимости каждого признака — «Шоу-1». Большие ошибки при диагностике с его помощью оправдывают переход к алгоритму, учитывающему парные связи, «Шоу-2». Более сложные алгоритмы этого класса «Шоу-3» и другие не получили распространения на практике из-за трудностей их технической реализации.

К числу хорошо зарекомендовавших себя эвристических алгоритмов относятся «Кора-3», работающий на альтернативных признаках, и сходный с ним «Образ-3», учитывающий политомические признаки. При резко ограниченном числе эталонных объектов, например месторожде-

Классификация алгоритмов диагностики геологических объектов (по Л. Н. Дуденко)

Тип признаков	Предположения о типе связей между признаками	Ограничения на тип распределения признаков	Алгоритм распознавания
Дискретные	Независимость признаков	Распределения невырождены (отсутствуют нулевые частоты) Распределения вырождены	«Шоу-1» (алгоритм <i>C</i>) «Кора-1»
	Ветвящиеся зависимости I порядка	Распределения невырождены Распределения вырождены	«Шоу-2» (алгоритм <i>D</i>) «Кора-2» («голосование по тесторам длины 2»)
	Ветвящиеся зависимости II порядка	Распределения невырождены Распределения вырождены	«Образ-3» «Кора-3» («голосование по тесторам длины 3»)
	Ветвящиеся зависимости порядка $R-1$	Распределения вырождены	«Голосование по тесторам длины $l \leq R$ »
Непрерывные	Признаки независимы (линейное приближение)	Ограничений нет	Линейная стохастическая аппроксимация
	Ветвящиеся зависимости I порядка (квадратичное приближение)	Ограничений нет	Квадратичная стохастическая аппроксимация
	Ветвящиеся связи I порядка	Нормальное распределение и равные ковариационные матрицы Нормальное распределение и неравные ковариационные матрицы	Линейные дискриминантные функции Алгоритм Андерсона — Бахадура и квадратичные дискриминантные функции Способ Ватанабе

ний полезных ископаемых определенного типа, эффективными оказываются эвристические алгоритмы: «Тупиковые тесты и тесторы», а также «голосование по тупиковым тесторам», которые в состоянии учесть достаточно сложные диагностические комбинации признаков.

Принимая во внимание, что деление признаков на дискретные и непрерывные условно, поскольку всегда имеется возможность перехода от одних систем признаков к другим (от непрерывных к дискретным и далее к альтернативным), на практике задачи диагностики нередко решаются с широким комплексированием разнообразных процедур. При этом иногда в ответственных ситуациях, например при прогнозной оценке территории, приходится прибегать к «голосованию по методам», т. е. отдавать предпочтение результатам, подтверждаемым сразу несколькими методами. Такой прием практиковался, в частности, А. Н. Бугайцом и его коллегами при прогнозировании месторождений в Южном Казахстане и Рудном Алтае [47].

В заключение приводим классификацию алгоритмов диагностики геологических объектов по Л. Н. Дуденко (табл. 14).

<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>1. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>2. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>3. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>4. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>5. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>6. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>7. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>8. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>9. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>10. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>11. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>12. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>13. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>14. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>
<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>15. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>16. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>17. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>18. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>19. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>20. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>21. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>22. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>23. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>24. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>25. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>26. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>	<p>Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>27. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p> <p>28. Алгоритмы, основанные на анализе признаков</p>

ГЛУБИННОЕ И ОБЪЕМНОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ

ГЛУБИННОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ (ГГК)

Объектами глубинного картирования являются породы, составляющие поверхность погребенного складчатого фундамента или отдельные продуктивные толщи внутри покровного чехла. Специфика проведения глубинного геологического картирования заключается в невозможности вести непосредственные наблюдения над изучаемыми горизонтами и поверхностями обычными методами наземных полевых исследований. Картируемые объекты доступны изучению лишь в ограниченном объеме кернового материала, полученного при бурении сравнительно редко расположенных скважин. Особую роль в таких условиях играет использование наряду с геологическими широкого комплекса геофизических и аэрофотометодов. При изучении пород погребенного фундамента большое значение приобретает корреляционный анализ, основанный на углубленном изучении образцов керна литолого-петрографическими, геохимическими, петрофизическими и другими методами. Повышение качества ГГК, его экономическая и поисковая эффективность зависят прежде всего от правильной организации работ, выбора наиболее рационального комплекса геологических и геофизических методов исследования и широкого использования ЭВМ на всех этапах картирования. Наиболее целесообразно проводить ГГК одновременно на группе смежных листов (5—7) комплексной геолого-геофизической партией по единому проекту. Иногда ГГК сопровождается тематическими работами или они ему предшествуют.

ОБЩИЙ ПОРЯДОК И СОДЕРЖАНИЕ ГГК НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ

Общий порядок проведения ГГК по существу аналогичен порядку проведения геологической съемки масштаба 1:50 000 в одноярусных районах. Однако фактическое содержание ГГК и каждого его этапа значительно отличается от геологической съемки (табл. 15). Главным отличием является то, что в основе ГГК лежат комплексный анализ физических полей и их геологическая интерпретация, а не площадные визуальные геологические наблюдения.

Проектирование. Высокая стоимость ГГК определяет необходимость строгого подхода к выбору комплекса методов, сетей геофизических и геохимических наблюдений и их точности, а также количества скважин и глубины их бурения. Наиболее полно такие требования могут быть определены при использовании моделей искоемых месторождений и рудных полей [129, 170, 327, 393, 513, 523]. Статистическая модель прогнозируемого объекта (месторождения и рудного поля) позволяет при проектировании обоснованно наметить комплекс опережающих площадных исследований, определить параметры геофизических и геохимических сетей, а на последующих этапах ГГК и необходимое количество и глубину проходки скважин, наметить критерии прогноза и конкретную последовательность решения поисковых задач.

Таблица 15
Общий порядок и содержание ГГК по этапам

Название этапа	Задачи	Содержание	Примерные сроки*	Инженерный состав
Проектирование	Составление проекта и сметы	Сбор фондовых и опубликованных материалов. Составление схемы общего структурного плана (проектной геологической карты). Выбор комплекса и методики по каждому методу. Обоснование показателей качества работ, объемов и размещения их по площади. Составление поэтапного плана. Написание проекта и расчет сметы	3 месяца	1 геолог и 1 геофизик
Подготовительный (опережающий)	Создание геолого-геофизической основы ГГК	Комплекс площадных геофизических, аэрофотосъемочных, гидрогеохимических, металлотрических ** работ. Сбор каменного материала по ранее пробуренным скважинам и естественным разрезам и его геолого-петрофизическое изучение. Изучение коллекций шлифов. Составление предварительной стратиграфической колонки с указанием петрофизических параметров различных групп пород и стратиграфических подразделений. Обработка и интерпретация геофизических материалов (в случае необходимости пересоставление отдельных карт по исходным данным). Дешифрирование АФС и морфометрический анализ. Составление схемы комплексной интерпретации. Уточнение количества и мест проложения профилей и методики исследований на них.	1 год ***	Кроме требуемых по СУН 1 геофизик
Полевой	Составление полевой геологической карты, предварительный прогноз и оценка перспективных участков	Предварительный выбор поисковых участков и методики их изучения. Дополнение и уточнение проекта и сметы (в случае необходимости) Подготовка и бурение по опорным профилям. Подготовка и бурение межпрофильных и структурных скважин. Литогеохимическое, гидрогеохимическое, петрофизическое, геофизическое и другие виды изучения керна скважин. Переинтерпретация геофизических и аэрофотосъемочных материалов. Составление полевой геологической карты. Выявление и оценка перспективных участков. Составление полевой карты закономерностей размещения полезных ископаемых	Два полевых сезона	Кроме требуемых по СУН 1 геофизик
Камеральный	Составление карт: геологической, полезных ископаемых и прогноза, написание отчета	Аналитические и лабораторные исследования. Окончательная интерпретация площадных и профильных материалов с учетом всех данных, полученных в процессе ГГК. Уточнение прогнозных критериев и оценка перспектив площади. Составление комплекта обязательных и вспомогательных карт. Составление отчета	10—11 месяцев	Определяется проектом

* Для группового ГГК продолжительность этапов может быть увеличена, но не более чем в 2 раза, а общая продолжительность до 5 лет.

** Для районов с мощностью покровного комплекса до 30 м.

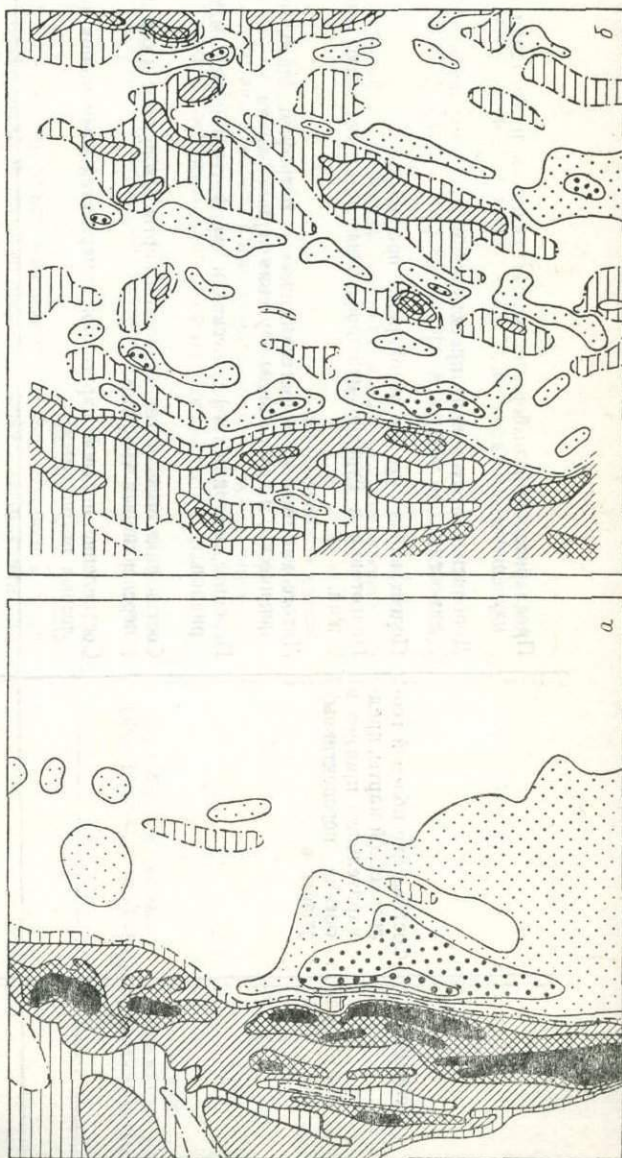
*** Продолжительность и состав работ этапа уменьшаются, если опережающие площадные исследования (или их часть) выполнены до ГГК.

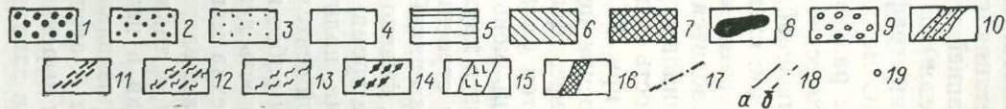
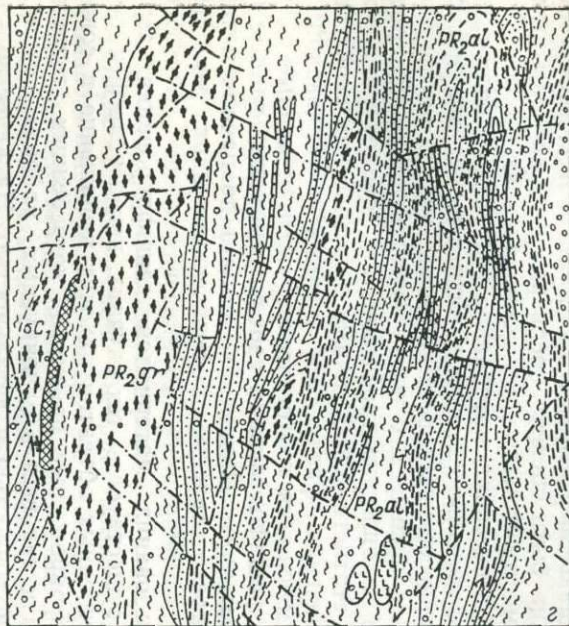
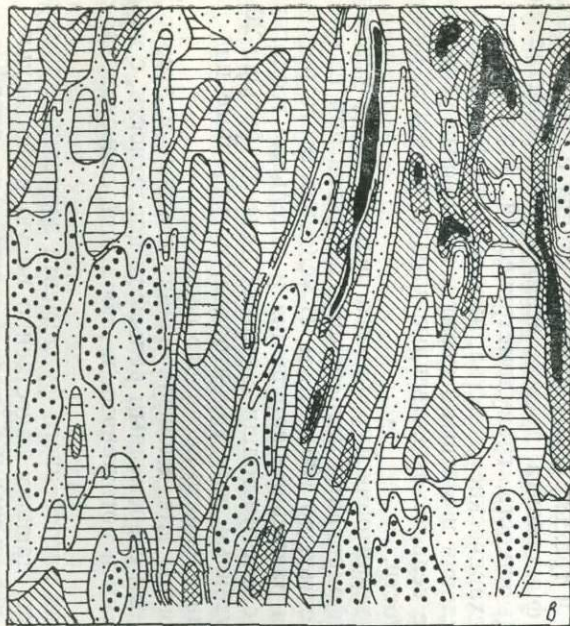
Опыт ГГК в разных регионах показал, что производство всего цикла работ единой комплексной геолого-геофизической партией наиболее рационально, при этом отдельные виды исследований (в частности, площадные) могут выполняться для партии ГГК другими подразделениями на подрядных или договорных началах. Однако нередко площади, на которых проектируется ГГК, уже изучены тем или иным методом (аэромагнитная съемка, литогеохимия и т. п.). В этих случаях в проекте должны предусматриваться объемы для повторной обработки (в случае необходимости) и комплексной переинтерпретации таких данных.

Опережающий этап. В районах с эвгеосинклинальным типом разреза складчатого фундамента в комплекс геофизических исследований включаются аэромагнитная съемка масштаба 1:25 000 или наземная магниторазведка масштаба 1:50 000, гравиразведка масштаба 1:50 000, электроразведка (ВП, СЭП) и отдельные профили сейсморазведки методом МОВ (рис. 92).

Для районов с миогеосинклинальным типом разреза складчатого комплекса, перекрытого покровными отложениями мощностью до 300 м, наиболее рациональным является проведение сейсморазведки методом КМПВ с расстоянием между профилями 1 км и высокоточной гравиразведки масштаба 1:50 000 [269, 370]. Дополнительную информацию о строе-

Рис. 92. Пример картирования сложно дислоцированных метаморфических образований. Мощность покровного комплекса около 30 м. (Составлен П. А. Литвиним и М. Б. Рыбаковим по материалам В. А. Уфимцева, Б. И. Ляпичева, Г. Н. Филофова, Л. С. Преображенского).





а — схема магнитного поля; 1—8 — интенсивность поля ΔZ , гаммы: 1 — < -400, 2 — от -400 до -300, 3 — от -300 до -200, 4 — от -200 до 0, 5 — от 0 до 100, 6 — от 100 до 200, 7 — от 200 до 500, 8 — > 500. б — схема локальных гравитационных аномалий (вариации Б. А. Андреева, радиус 1 км); 2—7 — интенсивность поля, мгл: 2 — < -1,0; 3 — от -1,0 до -0,5; 4 — от -0,5 до 0; 5 — от 0 до 0,5; 6 — от 0,5 до 1,0; 7 — > 1,0.

в — схема кажущихся сопротивлений (симметричное профилирование АВ=500 м); 2 — 8 — интенсивность поля, ом·м: 2 — > 200; 3 — от 200 до 100; 5 — от 100 до 50; 6 — от 50 до 20; 7 — от 20 до 10; 8 — < 10. г — геологическая карта погребенного фундамента: 9 — ордовикская система, нижний отдел: конгломераты, песчаники; 10 — верхний протерозой, алексеевская свита; 10 — пачка преимущественно песчаниковая; 11 — пачка преимущественно углисто-глинистых, углисто-филлитовых, углисто-кремнистых сланцев; 12 — пачка переслаивания сланцев углистых, графитистых, филлитовых, слюдяных; 13 — пачка преимущественно глинистых, филлитовых, слюдяных сланцев; 14 — верхний протерозой, городищенская свита: кварц-серпичит-хлоритовые сланцы, амфиболиты, порфиритоиды, порфириды, кварциты; 15 — тела порфиринов среднего состава; 16 — серпентиниты; 17 — тектонические нарушения; 18 — геологические границы: а — установленные, б — предполагаемые; 19 — картированные скважины.

нии фундамента можно получить от применения высокоточной магнито-разведки и электроразведки. Однако возможности последнего метода остаются недостаточно выясненными.

В случае отсутствия или плохого качества аэрофотосъемочных материалов ГГК должна предшествовать аэрофотосъемка, в том числе и высотная. Весьма желательно, особенно при картировании группы листов, использование космических снимков.

Параллельно с геофизическими работами проводится гидрогеохимическое опробование поверхностных водотоков, водопунктов и по возможности ранее пробуренных скважин. В районах с небольшой мощностью покровных отложений (до 30 м) благоприятного состава (преимущественно грубообломочные отложения) осуществляется металлометрическая съемка в масштабе 1:50 000, а на ранее выявленных геохимических аномалиях — в масштабе 1:10 000—1:25 000. В районах с аридным климатом хорошие результаты дает биогеохимическое опробование. Однако эффективность лито- и биогеохимических методов при ГГК должна быть оценена предварительными опытными работами на известных месторождениях и рудопроявлениях.

Интерпретация геофизических материалов является подготовительной операцией к составлению итоговых геологических документов (карт и разрезов). В процессе интерпретации используются карты изолиний и планы графиков физических полей (обязательный материал по каждому из методов площадных геофизических съемок), геолого-геофизические разрезы, статистические данные о физических свойствах пород и фактические значения физических свойств с привязкой к пунктам наблюдений, имеющиеся геологические карты и данные о диагностике пород, схемы дешифрирования аэрофотоснимков, данные по ранее пробуренным скважинам. При необходимости до начала интерпретации проводится пересоставление геофизических карт по первичным материалам.

Возможность использования материалов дешифрирования аэрофотоснимков при ГГК существует в тех случаях, когда рельеф и особенности строения погребенных объектов находят выражение в современном рельефе. Дешифрировочные признаки погребенных геологических объектов близки к таковым в одноярусных районах, отличаются они лишь меньшей точностью и детальностью. На качество дешифрирования в двух- и трехъярусных районах наряду с особенностями состава и строения фундамента прежде всего влияют свойства покровных образований (мощность, гранулометрический состав, степень литификации, физико-механические свойства, расчленение поверхности и др.), а также время, условия и масштаб съемки, природные условия и климат района, наличие сельскохозяйственных угодий и других объектов культурной деятельности.

По опыту работ на территории Тургайского прогиба [321] установлена возможность дешифрирования погребенных объектов при наличии покровного чехла мощностью до 100—120 м. В условиях этого региона лучше всего выявляются разрывные нарушения и отдельные геологические границы, а также слоистые толщи с углами падения больше 20—30°, известняки и интрузивные тела гранитоидов, погребенные под покровными образованиями алеврито-песчаного состава.

Наиболее благоприятны для дешифрирования степные и лесостепные районы с выровненным современным рельефом поверхности, с хорошо развитыми западинами и потяжинами и небольшой сельскохозяйственной освоенностью.

При дешифрировании погребенного фундамента возможно применение космических снимков, дающих качественно новую информацию, а также целесообразно использование разномасштабных аэрофотометодов.

В результате дешифрирования аэрофотоснимков и интерпретации геофизических данных должна быть составлена схема комплексной интерпретации. Эта схема имеет важнейшее значение для направления всех исследований в процессе ГГК. На основе схемы комплексной интерпретации выбирается положение опорных геолого-геофизических профилей, определяется методика (стратегия) проведения сопровождающих геофизических работ и бурения в межпрофильных пространствах и намечаются участки для постановки поисковых работ.

Полевой этап. В районах двух- и трехъярусного строения полевые работы представляют собой многостадийный процесс и их эффективность во многом определяется последовательностью выполнения отдельных операций.

Полевые работы начинаются с изучения опорных геолого-геофизических профилей. Они располагаются вкрест простирания основных структур на участках, где по предварительным геолого-геофизическим данным вероятно встреча наибольшего числа типичных для района стратиграфических подразделений или литологических комплексов. Количество профилей зависит от сложности геологического строения, степени дифференцированности пород по физическим свойствам, возможности интерполяции данных на определенные расстояния и т. д. В зависимости от перечисленных факторов количество геолого-геофизических профилей может варьировать от 2 до 4 на один лист масштаба 1:50 000. В случае наличия в районе работ хорошего естественного разреза один из опорных профилей рекомендуется совместить с этим разрезом.

Геофизические работы по опорным профилям проводятся тем же комплексом методов, что и площадные геофизические исследования, но с более детальным шагом. Проведению геофизических работ предшествует топографическая разбивка опорного профиля для последующей строгой привязки всех скважин.

После геологической интерпретации геофизических материалов производится бурение скважин на опорных профилях. Буровые скважины располагаются на профилях неравномерно. Они сгущаются в зонах контактов, изменений геофизических аномалий и т. д. и разрежаются на участках относительно простого геологического строения и с однородными физическими полями. Вопрос о рациональной расстановке скважин на опорных профилях должен решаться в каждом конкретном случае. Так, по представлениям М. Н. Столпнера [407], расстояние между скважинами не должно превышать 500 м, В. Ю. Коваленко [197] приводит цифру 500—1500 м, исследования авторов настоящей главы показывают, что расстояния между скважинами могут колебаться от 75—100 и до 1000—2000 м в зависимости от состава и перспективности пород фундамента и дифференциации физических полей. На тех участках, где геофизические методы малоэффективны и не дают представления о составе и структуре складчатого комплекса, скважины задаются более равномерно, а их густота зависит от ожидаемого типа разреза и перспектив объекта на полезные ископаемые.

Геолого-геофизические данные, полученные по опорным профилям, схема комплексной интерпретации, материалы дешифрирования аэрофотоснимков, а также различные геологические данные, собранные на подготовительном этапе, служат основой для построения предварительной геологической карты изучаемого глубинного горизонта, позволяющей уточнить участки последующих поисковых работ и места проходки межпрофильных скважин.

На следующем этапе (обычно второй год полевых работ) осуществляются бурение межпрофильных скважин и поисковые работы. Межпрофильное бурение производится для корреляции отдельных гео-

логических комплексов и структур между опорными профилями, расшифровки природы геофизических и геохимических аномалий и установления характера наиболее важных границ. В это же время проводится бурение структурных скважин (см. ниже).

Поисковые работы осуществляются на перспективных участках и включают специализированные крупномасштабные геофизические исследования, геохимические работы и бурение. Цель этих исследований — оконтуривание и предварительное изучение участков, в пределах которых установлены прямые или косвенные признаки полезных ископаемых.

В течение всего периода полевых исследований проводятся дешифрирование аэрофотоматериалов и переинтерпретация геофизических материалов с учетом новых геологических данных. При картировании групп листов этапы проведения отдельных видов работ на разных площадях могут перекрываться во времени, но указанная выше их последовательность должна быть сохранена.

Геологическое изучение при ГГК в основном базируется на материалах бурения скважин с последующим детальным описанием и исследованием разреза и образцов керна. Глубина картировочных скважин зависит от мощности покровных отложений и коры выветривания, поисковой значимости объектов исследований и должна обеспечивать проходку по невыветрелым породам не менее 40—50 м. Средняя глубина поисковых скважин составляет 200—300 м при мощности покрова до 100 м. Для решения узловых вопросов геологического строения или изучения продуктивных горизонтов проводится бурение структурных скважин, средняя глубина которых 400—500 м, а количество не более 1—2 на лист.

Методика описания (опробования) скважин приводится в разнообразных инструкциях и руководствах. В дополнение к изложенному следует особо подчеркнуть, что укладка керна в ящики должна обязательно осуществляться под наблюдением техника, описание скважин — производиться геологом, причем в полевой партии должна быть собрана полная коллекция образцов всех скважин, просматриваемая «одними глазами». При опробовании следует считать обязательным отбор всех основных разновидностей пород на определение физических свойств, изготовление шлифов и на спектральный анализ, а также отбор 2—3 ориентированных образцов керна при проходке пород, в которых возможны наблюдения элементов залегания. Также необходимы тщательные поиски всех органических остатков и отбор образцов на микрофауну и спорово-пыльцевые анализы из соответствующих разновидностей пород. Необходимость остальных видов исследований (химический, силикатный, минералогический, карбонатный, термический и др.) устанавливается в процессе работ. При опробовании керна на спектральный анализ наиболее целесообразно отбирать штучные пробы массой до 150 г по разрезам всех скважин из каждой разновидности пород; в случае однородных разрезов через 2—5 м (в отдельных случаях до 0,5—1 м). Минералогические пробы следует отбирать массой 1—1,5 кг пунктирно-бороздовым способом, но в отдельных случаях возможно и штучное опробование.

При изучении разрезов скважин обязательно использование результатов каротажа и скважинных геофизических исследований, кроме того, целесообразно проведение сплошной каппаметрии керна. Весь разрез «прослушивается» прибором ИМВ-2, а замеры фиксируются через 0,5—1 м, причем в каждой точке рекомендуется делать два-четыре замера, поворачивая керн вокруг оси. Результаты каппаметрии облегчают геологу изучение разреза и помогают более обоснованно проводить границы, выделять зоны катаклаза, брекчирования, метасоматоза и скарнирования, а также важны при изучении ксенолитов

и характера распределения темноцветных и рудных минералов. Параллельно с капаметрией отбираются представительные образцы для определения физических свойств из всех разновидностей пород. Целесообразно производить массовое определение плотности, магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности и фактора Q (на аstaticком магнитометре) непосредственно в поле. Опыт показал, что определение физических свойств необходимо при изучении всех разновидностей пород для решения разнообразнейших задач ГГК.

Изучение разрезов скважин при ГГК должно обязательно сопровождаться широким использованием кернометрии, включающей в себя получение ориентированного керна, его ориентацию в пространстве, выявление и документацию структурных элементов с последующей геологической интерпретацией полученных данных.

Камеральный этап. При ГГК период камеральной обработки приобретает особенное значение. По сравнению с аналогичным этапом при съемке в одноярусных районах он растянут во времени, так как начинается еще в поле параллельно со сбором фактического материала (оперативный просмотр шлифов, определение физических свойств пород и т. д.); на камеральный этап в «закрытых» районах приходится решение ряда типичных «полевых» задач, таких как корреляция разрезов, прослеживание и оконтуривание тел и т. д. Во время камерального периода проводятся прежде всего глубокое всестороннее комплексное изучение каменного материала, интерпретация площадных геофизических материалов и данных аэрофотосъемки, а также увязка результатов всех этих работ.

Обилие и разнообразие фактического материала, получаемого при ГГК (особенно при проведении работ на нескольких листах), требует широкого внедрения в практику современных средств обработки. Имеется несколько направлений использования ЭВМ при ГГК. Одно заключается в создании систем унифицированного описания керна и последующего получения «банка данных». Другое включает широкое использование ЭВМ при обработке геофизических, петрофизических и геохимических материалов (построение карт физических полей, количественная интерпретация геофизических данных, статистическая обработка первичных материалов и т. д.). Весьма перспективным является использование ЭВМ для реализации алгоритмов распознавания образов с целью картирования и количественного прогнозирования [100].

МЕТОДИКА ГГК СКЛАДЧАТОГО КОМПЛЕКСА

Картирование погребенного фундамента ставит перед исследователем практически те же задачи, что и в одноярусных районах. Однако решаются эти задачи с меньшей полнотой и достоверностью, хотя и применяется широкий комплекс методов (табл. 16). При этом усиливается роль дистанционных методов (геофизических, аэрофотосъемочных) и детального изучения вещественного состава керна скважин с применением разнообразнейших методов и приемов.

Методика изучения осадочных и вулканогенных пород

Изучение стратиграфического разреза проводится, как и обычно, в течение всего периода работ, однако при ГГК особо ответствен период предполевой подготовки, так как в это время формируется основное представление о разрезе, а ошибки и неточности

Основные задачи и методы их решения при крупномасштабном ГГК складчатого комплекса

Задачи	Методы															
	Магнито-разведка	Гравитразведка	Электро-разведка		Сейсмо-разведка		Дешифрирование аэро-фотоснимков	Петрографо-литологический	Биостратиграфический	Минералогический	Геохимический	Петрофизи-ческий	Фациальный анализ	Формационный анализ	Структурный анализ	Кернометрия
			СЭП	ВП	МОВ	КМПВ										
Осадочные и вулканогенные образования																
Изучение стратиграфического разреза	+++	+	++	++	+	+++	+	+++	++	++	+	+++	+	+	++	++
Прослеживание и оконтуривание выделенных подразделений	+++	++	++	++		+++	++	+++	+	++	+	++			++	++
Выделение и картирование маркирующих горизонтов	+++		++	++		+++	++	+++	++	++	+	+++				++
Восстановление условий осадкообразования								+++	++	++	++	++	+++			
Определение формационной принадлежности								+++		++	++	++		+++		
Выделение и картирование вулканических построек	++	++	++				++	+++		++	++	+++	+++	++	++	++
Интрузивные образования																
Выделение и оконтуривание тел определенного состава	+++	+++	++				++	+++				+++				++
Расчленение	+++	++		+				+++		++	++	+++		++		++
Определение соотношения с вмещающими породами и изучение контактовых ореолов	++	++	+	++				+++	+	++	++	++		++		++
Определение формы	+	+++						++				++				++
Установление формационной принадлежности и отнесение к комплексам	+	+		+				+++		+++	+++	++	++	+++		
Метаморфические образования																
Расчленение, прослеживание отдельных разновидностей пород	+++	++	+++	++		+	++	+++		++	++	++				++
Выделение свит и комплексов	++	++					++	+++	++	+++	++	++				++
Определение степени и характера метаморфизма	++	+						+++		+++	++	++				
Выделение и картирование зон гидротермально измененных пород	+++	+	++	++			++	+++		+++	++	+++				
Тектонические структуры																
Общий структурный план																
Определение характера складчатости и выявление основных складчатых структур*	+++	+++					++								++	
Определение мощности складчатого комплекса (структурные ярусы, подъярусы)	++	+++		+										++	++	
Выявление основных разрывных нарушений*	+++	+++					+++								++	
Складчатые структуры																
Определение планового положения	+++	++	+++			++	+	++								
Определение азимута простираения	+++	++	+++				++	++								+++
Определение угла падения	++	+	+		++		++	++								+++
Определение знака складки	++	+			++		++	++								++
Разрывные нарушения																
Определение азимута простираения (трассирование)	+++	+++	+++	++		++	+++	++								
Определение угла падения плоскости сместителя	+	+			+											
Определение ширины (мощности) зоны разлома	++	++	+++	++		+	+									

* Решается на этапе подготовительных работ с использованием геолого-геофизических материалов среднего масштаба и аэрофотоснимков. Бурение и визуальное наблюдение по керну обязательны при решении всех задач.
Условные обозначения: +++ — основные виды исследований, ++ — вспомогательные виды исследований, + — виды исследований, применяемые в отдельных случаях.

при составлении предварительной литолого-стратиграфической колонки, как показал опыт, трудноустраняемы в дальнейшем.

Изучение стратиграфического разреза в полевой период базируется преимущественно на материалах по опорным геолого-геофизическим профилям [237, 323], причем наиболее ценная информация получается в случае перекрытого разреза и наличия структурных скважин. Некоторые детали разреза уточняются межпрофильными скважинами. Выделенные по профилям литолого-физические комплексы пород сопоставляются с предварительно намеченными. Взаимоотношения толщ определяются по результатам количественной интерпретации геофизических материалов, данным кернометрии и структурным построениям. Для полной увязки всех геологических и геофизических данных в процессе ГГК приходится строить несколько вариантов опорных геолого-геофизических профилей и вносить изменения в стратиграфическую колонку.

Прослеживание и оконтуривание геологических тел при ГГК, в отличие от открытых районов, процесс растянутый во времени и завершается только к концу работ. Крупные стратиграфические подразделения (свиты и их части) уверенно картируются по комплексу наблюдений, включающих геофизические данные и результаты бурения. Прослеживание по площади более мелких элементов разреза (пачки, горизонты, слои), выделенных на опорных профилях, зачастую не удается. Решение этой задачи без дополнительных затрат возможно лишь в том случае, когда горизонты и слои обособлены в разрезе, отличаются по физическим свойствам от вмещающих пород и создают характерные аномалии в физических полях. Прослеживание и оконтуривание отдельных пластов в толщах, не дифференцированных по физическим свойствам, требует постановки специализированных геофизических работ и дополнительного объема бурения, что приводит к удорожанию работ и целесообразно только при поисковой значимости объекта. В районах развития вулканогенных пород прослеживание и оконтуривание тел разного состава основывается преимущественно на данных магнито- и гравirazведки.

При съемке осадочных образований, перекрытых покровным чехлом небольшой мощности, наиболее часто применяются различные модификации электроразведки в сочетании с другими методами (гравirazведка, сейсморазведка КМПВ и др.).

Одной из сложнейших задач ГГК является определение элементов залегания картируемых подразделений в целом и отдельных пластов среди них. Простираения комплексов пород, контрастных по физическим свойствам, определяются по положению осей аномалий физических полей и иногда дешифрируются. Направление падения в отдельных точках наиболее достоверно определяется при кернометрии, иногда при анализе графиков ΔZ , ρ_k и Δg по геолого-геофизическим профилям. В ряде случаев возможно определение элементов залегания при помощи скважинной геофизики (для пластов, обладающих повышенной радиоактивностью, намагниченностью и др.).

Выделение и картирование маркирующих горизонтов основывается на интерпретации геофизических данных, дешифрировании и комплексном изучении состава, структурно-текстурных особенностей и свойств пород района. Особенно велико значение опорных горизонтов, состоящих из специфических парагенетических ассоциаций пород, легко узнаваемых в разрезе, имеющих точную стратиграфическую привязку и создающих надежно измеряемый и устойчивый по площади аномальный эффект в физических полях. Маркирующими могут быть свиты, их части или отдельные пласты мощностью порядка сотен, а в исключительных случаях — десятков метров.

Возможность картирования вулканических построек. Опыт проведения работ в Тургайском прогибе показал, что при картировании вулканических построек в закрытом районе наиболее достоверно решаются общие вопросы: выделение зон развития вулканизма в целом; выявление глубинных разломов, контролирующих размещение центров извержений; расшифровка дизъюнктивной тектоники (концентрические и радиальные разломы); определение суммарной мощности вулканогенных образований; выявление и прослеживание по площади фаций центральных частей построек (грубообломочные, агломератовые туфы, лавобрекчии) и удаленных от центров извержений. Вопросы более детального картирования и реконструкции самих построек нуждаются в дальнейших разработках.

Методика изучения интрузивных пород

Выделение и оконтуривание интрузивных тел определенного состава, основой которых при ГГК являются геофизические данные, выполняются почти так же уверенно, как и в открытом районе. Обязательное комплексирование гравиразведки и магниторазведки, а также использование материалов сейсморазведки и электро-разведки всегда позволяют найти признак или такое сочетание признаков, по которым отличаются интрузивные и вмещающие породы (см. гл. IV). В ряде случаев погребенные интрузивные тела выделяются на аэрофотоснимках.

Большое значение при ГГК придается выявлению «слепых» интрузий, не выходящих на поверхность картируемого горизонта, однако методика их выделения недостаточно разработана. Наиболее достоверно такие тела выявляются, когда на участках с типичными для не-вскрытых интрузий физическими полями установлены косвенные геологические признаки: наличие зон контактового метаморфизма, метасоматоза, грейзенизации, геохимических аномалий и т. д. Количественная интерпретация гравитационных аномалий в ряде случаев позволяет оценить глубину до верхней кромки и показать степень изменения вмещающих пород в надинтрузивной зоне.

Расчленение интрузивных образований на комплексы, выделение фаз, фаций и установление последовательности их образования осуществляются с помощью геофизических, литолого-петрографических, петрофизических и других методов. Достоверность решения этих задач зависит от степени дифференциации пород по составу, петрофизическим параметрам, характеру физических полей, от морфологии и размера массивов, степени изменения пород и т. д. Наряду с традиционными в последние годы были разработаны новые методы выделения комплексов интрузивных образований, которые могут использоваться при ГГК. Так, М. Л. Сахновский для разделения интрузивов Валерьяновского синклиория (Тургайский прогиб) на алешинский и адаевский комплексы успешно применил метод инвариантных признаков для обработки результатов петрохимических и петрофизических исследований [379, 381].

Выделение интрузивных фаз, фаций и определение последовательности их образования при ГГК в основном проводится по косвенным данным, основанным на комплексном геолого-геофизическом изучении интрузивов, дополненным материалами сопоставления и сравнения со сходными массивами на изученных территориях.

Определение соотношения с вмещающими породами и изучение контактовых ореолов является одной из основных задач ГГК, важнейшей для прогнозирования, выяснения потенциальной рудоносности и установления возраста интрузивных образований.

Активные термальные контакты гранитоидов, выражающиеся в ороговиковании вмещающих пород, обычно фиксируются положительными гравитационными и повышенными магнитными аномалиями, обусловленными уплотнением пород и повышением магнитной восприимчивости.

Погребенные зоны скарнов часто фиксируются полосовидными или кольцевыми интенсивными магнитными аномалиями разного знака, связанными с перераспределением и обогащением магнетитом. Для скарновых образований характерны также чрезвычайно изменчивые значения физических свойств и полей.

Прослеживание грейзенов связано с большими трудностями и возможно только в редких случаях, так как они не образуют сплошных ореолов вокруг интрузивов, локализуются вдоль тектонически ослабленных зон и неоднозначно трактуются в физических полях.

В пределах контактовых ореолов в отдельных случаях удается устанавливать метаморфическую зональность. Так, при картировании интрузий адаевского комплекса на территории Тургайского прогиба использование комплекса геологических и геофизических методов позволило выделить зоны роговиков, скарнов, эпидот-хлоритовых метасоматитов и локально серицитизированные, окварцованные и пиритизированные породы.

Определение формы интрузивных тел, изучение особенностей их формирования, выявление поздних и постмагматических процессов являются сложными задачами, решение которых сопряжено с большими трудностями. Форма массивов с разной степенью достоверности рассчитывается на основании количественной интерпретации данных гравиразведки [157] и магниторазведки (рис. 93). Полезные сведения о внутреннем строении и форме массивов получают также в результате интерпретации высотных магнитных съемок. По данным сейсморазведки МОВ на профилях выделяются участки, где отсутствуют отражающие площадки. По геологическим и магнитометрическим данным устанавливается соответствие таких участков интрузивным породам в верхних частях разреза. Границы массива на глубину прослеживаются по комплексу данных сейсморазведки и количественной интерпретации гравиметрических материалов.

Для определения условий формирования интрузивных тел (в том числе глубины становления) при ГГК используется ряд косвенных геологических признаков: структурно-текстурные особенности пород, тип контактовых изменений, степень метаморфизма вмещающих пород, характер жильной фации и постмагматического оруденения, но наибольшее значение приобретают выявление и использование петрографических, петрофизических и минералого-геохимических критериев глубинности.

Методика изучения метаморфических пород

При картировании пород, метаморфизованных в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций, применяются в основном принципы и методы, используемые при работе в областях развития осадочных, вулканогенных и интрузивных пород.

Картирование метаморфических пород, измененных в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций, является одной из труднейших задач съемки даже открытых территорий, в двухъярусных районах эти сложности усугубляются. При ГГК невозможно использовать в полной мере ряд приемов и методов, имеющих основное значение в открытых районах: изучение мелких структурных форм, характера складчатости, плоскостных и линейных структур, контактов, некоторых тек-

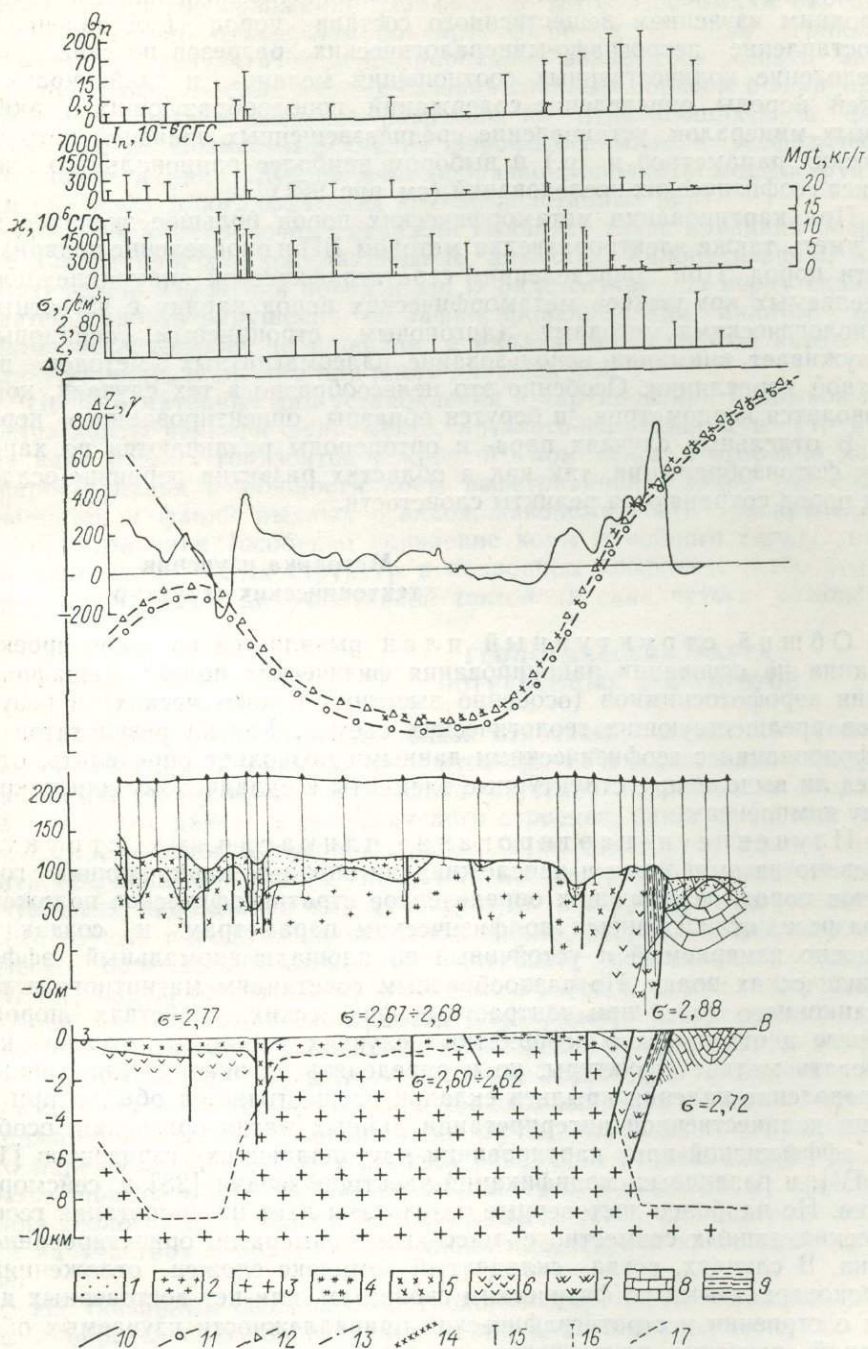


Рис. 93. Геолого-геофизический разрез через южную часть Федоровского массива. 1 — выветрелые породы; 2 — граниты—гранодиориты; 3 — граниты; 4 — гранодиориты; 5 — диориты, диоритовые порфириды; 6 — вулканиты основного состава; 7 — серпентиниты; 8 — известняки; 9 — сланцы; 10 — график ΔZ ; 11 — график наблюдаемых значений Δg ; 12 — график значений Δg , исправленных за погребенный рельеф; 13 — теоретическое продолжение исправленных значений Δg ; 14 — график значений Δg от подобранного разреза; 15 — значения физических параметров (χ , I_n , σ , Q); 16 — содержание магнетита (Mgt, кг/т); 17 — поверхность гранитного слоя.

стур и др. Ограниченность применения таких важнейших методов, как структурного и стратиграфического, должна компенсироваться всесторонним изучением вещественного состава пород (составление и сопоставление петрографо-минералогических разрезов по скважинам, определение количественных соотношений мелано- и лейкократовой частей породы, определение содержаний породообразующих и акцессорных минералов, установление средневзвешенных значений петрофизических параметров и др.) и выбором наиболее рационального комплекса геофизических исследований (см. рис. 92).

При картировании метаморфических пород большое значение могут иметь также электроразведка методом ВП и определение поляризуемости пород. При определении стратиграфической принадлежности выделяемых комплексов метаморфических пород наряду с известными радиологическими методами (аргоновым, стронциевым, свинцовым) заслуживает внимания использование палеомагнитных методов возрастной корреляции. Особенно это целесообразно в тех случаях, когда проводится кернометрия и берутся образцы ориентированного керна.

В отдельных случаях пара- и ортопороды различаются по характеру фотоизображения, так как в областях развития первично-осадочных пород сохраняются реликты слоистости.

Методика изучения тектонических структур

Общий структурный план выявляется на этапе проектирования на основании районирования физических полей, дешифрирования аэрофотоснимков (особенно высотных и космических) и результатов предшествующих геологических съемок. Увязка результатов дешифрирования с геофизическими данными позволяет определить, относятся ли выделенные структурные элементы к складчатому или покровному комплексам.

Изучение и картирование пликативных структур основано на выявлении и прослеживании опорных маркирующих горизонтов пород, занимающих определенное стратиграфическое положение в разрезе, отличающихся по физическим параметрам и создающих надежно измеряемый и устойчивый по площади аномальный эффект в физических полях. По разнообразным сочетаниям магнитного и гравитационного полей при контрастных физических свойствах пород в разрезе в отдельных благоприятных случаях можно не только картировать мелкие структуры, но и определять их знак и ориентировку. Определение падения крыльев складок осуществляется обычно при помощи количественной интерпретации данных магниторазведки, особенно эффективной при картировании крутопадающих горизонтов [199, гл. IV], и различных модификаций электроразведки [28] и сейсморазведки. Но наиболее достоверные результаты дает интерпретация геофизических данных совместно с массовыми замерами ориентированного керна. В случаях, когда складчатый комплекс сложен отложениями, малоконтрастными по физическим свойствам, или нет достоверных данных о строении и стратиграфической принадлежности изучаемых образований, изучение пликативных дислокаций ограничивается выяснением общего характера структур (линейные, брахиформные, куполовидные и др.) и определением их примерного простирания.

Изучение и картирование дизъюнктивных дислокаций. Признаки, свидетельствующие о наличии разрывов, и методика их выявления по каждому конкретному методу изложены достаточно полно [14, 217, 435], (см. гл. IV). Анализ вклада отдельных методов в решение этой задачи показал, что геофизическими методами уверенно выявляются лишь относительно небольшие фрагменты разрывов,

в то время как на аэрофотоснимках видны более протяженные линейные элементы. Плановое положение разрывов по аэрофотоснимкам определяется значительно точнее, чем по карте физического поля. Неполная идентичность результатов дешифрирования аэрофотоснимков и интерпретации геофизических данных связана главным образом с экранирующей ролью чехла и наличием разрывов, не отражающихся в физических полях. Совместный анализ аэрофотоснимков и геофизических материалов в ряде случаев целесообразно дополнять морфоструктурным анализом топографических крупномасштабных карт.

Бурение картировочных скважин выявляет такие признаки разрывных дислокаций, как рассланцевание, катаклиз, милонитизацию, метасоматические изменения пород и др. В ряде случаев по керну скважин удается выявить нарушения, не зафиксированные при анализе материалов исследований на площади, а анализ геологической карты позволяет уточнить роль того или иного дизъюнктива.

Ценный материал для установления и картирования разрывов дает анализ карты рельефа фундамента, литолого-фациальных и структурных карт разных горизонтов покровного комплекса и особенно карты распространения и мощности коры выветривания. Резкие изменения мощностей и фаций рыхлых осадков, закономерности распределения кор выветривания (особенно появление коры линейного типа), наличие флексуроподобных структур в покровном комплексе — все это является отражением дизъюнктивной тектоники складчатого основания.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ПОГРЕБЕННЫХ ГОРИЗОНТОВ

Достоверность и точность показа отдельных элементов геологического строения глубинных горизонтов при ГГК естественно ниже, чем при съемке поверхности. Специфика изучения погребенных горизонтов в районах двух- и трехъярусного строения, заключающаяся в невозможности непосредственного наблюдения пород изучаемого горизонта обычными методами полевых исследований (недостаточность визуальных наблюдений над текстурными и структурными особенностями горных пород, их взаимоотношениями, отсутствие или малое количество определений элементов залегания, редкая сеть скважин и т. п.), определяет схематичность геологической карты погребенных уровней. Повышение достоверности картирования погребенного фундамента немыслимо без широкого применения геофизических методов. Это обстоятельство определяет литолого-физическую сущность большинства картируемых объектов и карты в целом. Очевидной является и разномасштабность геологической карты погребенного фундамента. Это определяется в первую очередь различной разрешающей способностью применяемого комплекса методов для выявления и прослеживания геологических тел разной природы, а также концентрацией усилий на участках и объектах, имеющих поисковое и прогнозное значение.

Из указанных особенностей геологической карты вытекает и подход к определению точности выявления и показа геологических границ. Литолого-физический характер карты ставит на первое место вопрос о точности проведения границ по геофизическим материалам; из положения о разномасштабности карт следует вывод о том, что не может быть единых требований, определяющих точность выявления и прослеживания любой геологической границы; а поисковая направленность ГГК требует более точного выделения границ, важных для решения поисково-прогнозных задач.

Предлагается называть границу установленной, если она выявлена с погрешностью ± 200 м по геофизическим данным, дешифрированию

аэрофотоснимков или по комплексу этих методов. Все границы, выявленные с большей погрешностью, следует считать предполагаемыми. В случае подтверждения и определения характера границы по результатам бурения в одном или нескольких местах она называется прослеженной (по всему протяжению или на отдельных участках [407]).

ПОИСКОВЫЕ РАБОТЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИ ГЛУБИННОМ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ КАРТИРОВАНИИ ЗАДАЧИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ

В соответствии с «Основными положениями организации и проведения глубинного геологического картирования» [327] ГГК специализируется в направлении изучения ограниченного круга полезных ископаемых, промышленно важных в изучаемом районе. В частном случае поисковые работы при ГГК могут быть ориентированы лишь на один тип полезного ископаемого. Главной поисковой задачей, решаемой в процессе ГГК, является выявление участков, перспективных на ископаемый вид полезного ископаемого, и определение вероятности наличия промышленного месторождения на каждом из таких участков до некоторой фиксированной глубины. В отдельных случаях прогноз может относиться только к месторождениям, выходящим на поверхность погребенного складчатого фундамента. Перечень типов полезных ископаемых и максимальная глубина, до которой осуществляется прогноз, должны быть указаны в задании на проведение ГГК. Если опережающие исследования проводятся по отдельному проекту, эти сведения должны содержаться также в задании на проведение опережающих исследований.

В результате проведения ГГК по каждому из выявленных перспективных участков должны быть разработаны рекомендации для детальных поисковых работ и установлена очередность опойскавания с учетом полученной оценки вероятности наличия месторождения, а также тех особенностей геологического строения участка, которые определяют комплекс поисковых работ и их стоимость.

Детальные поисковые работы на рекомендованных участках должны проводиться силами поисковых партий по отдельному проекту, они не являются задачей ГГК. Вместе с тем в практике ГГК встречается необходимость выборочной оценки выявленных в процессе ГГК или известных ранее проявлений полезных ископаемых, а также выборочной проверки геофизических и геохимических аномалий, предположительно связанных непосредственно с рудными телами. В подобных случаях в задачу ГГК должна входить ориентировочная оценка качества и количества полезного ископаемого.

Такие оценочные работы могут формально выходить за рамки работ масштаба 1 : 50 000, однако они необходимы для повышения оперативности решения поисковых задач, а также для более правильной оценки территории в целом и участка, на котором находится рудопроявление (или аномалия). Однако подобная оценка не должна перерастать в детальные поисковые работы.

ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПОИСКОВЫХ РАБОТ ПРИ ГГК

Для надежного выявления и оценки перспективных участков необходимо целеустремленное изучение поисковых критериев и поисковых признаков в течение всего процесса ГГК начиная с опережающих ис-

следований. Это изучение составляет содержание поисковых работ при ГГК (табл. 17).

Многообразие районов двух- и трехъярусного строения, различающихся типами полезных ископаемых и природными условиями ведения поисковых работ, не позволяет рекомендовать универсальную, конкретизированную до деталей, методику поисков. Тем не менее можно сформулировать некоторые общие принципы, соблюдение которых необходимо для достаточно эффективного решения поисковых задач в районах двух- и трехъярусного строения.

1. На первом этапе работ — опережающих исследованиях — в комплекс методов должны быть включены такие геофизические и геохимические исследования, которые позволяют достаточно эффективно локализовать перспективные площади. Как правило, на этом этапе задачей поисковых работ является выявление и оконтуривание вероятных рудных полей*, а не отдельных месторождений.

Рудные поля в пределах одного типа месторождений характеризуются резко колеблющимися размерами. Поэтому наиболее крупные из них могут быть обнаружены на стадии среднемасштабного ГГК. В этом случае при крупномасштабном ГГК в отношении этих рудных полей должна быть решена задача их более точного оконтуривания и изучения более локальных элементов для уточнения перспективности.

2. На втором этапе ГГК — этапе полевых геофизических и буровых работ — на выделенных перспективных площадях более детально, чем на остальной площади, картируются элементы геологического строения, имеющие прогнозное значение. Для этой цели в их пределах проводятся дополнительные (качественно иные или более детальные, чем на опережающем этапе) геофизические и геохимические исследования, а также буровые работы. Этот комплекс исследований позволяет решить следующие задачи: а) уточнить перспективы площадей, выделенных на этапе опережающих исследований (в результате детального изучения некоторые из этих площадей могут быть оценены как бесперспективные или малоперспективные и дальнейшие поисковые работы на этих площадях признаны нецелесообразными), б) на площадях, перспективность которых подтверждена, выделить конкретные перспективные участки, с предполагаемыми месторождениями искомого типа.

3. Предварительная оценка проявлений полезных ископаемых, проверка геохимических и геофизических аномалий, предположительно связанных с телами полезных ископаемых, осуществляются выборочно, либо для наиболее перспективных объектов, либо с таким расчетом, чтобы каждый оцениваемый объект по возможности был типичным представителем некоторой группы подобных объектов на площади работ.

Оцениваемый объект вскрывается одной скважиной (для некоторых типов полезных ископаемых одним буровым профилем), что позволяет оценить качество полезного ископаемого, например, для рудных полезных ископаемых содержание полезного компонента и особенности минерального состава, характеризующие в первом приближении технологические свойства руды. Размеры и форма объекта определяются по геофизическим данным, в отдельных случаях возможно применение для этой цели глубоких литогеохимических исследований.

Ключевым вопросом, от которого зависит эффективность поисковых работ при ГГК, является выбор рационального комплекса мето-

* Здесь и ниже под рудным полем понимается рудоносная площадь с генетически связанными между собой месторождениями и (или) рудопроявлениями, которые пространственно приурочены к единому локальному тектоническому элементу, единому магматическому телу или группе сближенных магматических тел, связанных общностью очага.

Эффективность различных видов полевых исследований при решении поисковых задач в процессе ГГК

Задачи	Аэрофотосъемка	Магниторазведка	Гравиразведка	Сейсморазведка	Электроразведка	Литохимические исследования с отбором проб на поверхности	Литохимические исследования глубинные	Гидрохимические исследования с отбором проб на поверхности	Гидрохимические исследования с отбором проб в скважинах	Биогеохимические исследования	Колонковое бурение	Методы скважинной геофизики (САФИ, метод заряда и др.)	Картаж скважин
Изучение поисковых критериев													
Структурный контроль	+	++	++	++	+						++		
Магматический контроль		++	++	++	+						++		+
Стратиграфо-литологический контроль		++	++	++	+						++		+
Изучение поисковых признаков													
Околорудные гидротермально измененные породы		++	++	+	++ ¹	+	++ ¹	+	++ ¹		++		++
Геохимические аномалии, обусловленные рудными телами						+	++	+	++	++ ²			
Геофизические аномалии, обусловленные рудными телами		++ ³	++ ⁴	+	++ ⁵							+	
Оценка выявленных рудопроявлений, а также геофизических и геохимических аномалий, предположительно связанных с рудными телами		++	++	+	++	+	++		+		++	++	++

Примечание. ++ — высокая эффективность метода в большинстве случаев; + — средняя эффективность метода в большинстве случаев или высокая эффективность в отдельных случаях; 1 — для сульфидизированных гидротермально измененных пород; 2 — преимущественно в районах с аридным климатом; 3 — для магнетитовых и некоторых других типов руд; 4 — для хромитовых, магнетитовых и некоторых других типов руд; 5 — для рудных тел, сложенных сульфидами.

дов на всех трех, охарактеризованных выше этапах поискового процесса.

Для решения этой задачи необходимо на стадии проектирования (до проведения опережающих работ) установить прогнозные критерии для рудных полей и месторождений искомого типа, а также методы исследований (прежде всего геофизические и геохимические), которые позволяют использовать эти критерии. Может оказаться, что прогнозные критерии, эффективные на открытых территориях, неприменимы в условиях ГГК или их использование сопряжено с недопустимо высокими затратами.

Анализ и выбор прогнозных критериев существенно облегчаются в том случае, когда на стадии проектирования геолог располагает статистическими моделями искомого объекта: статистической моделью рудного поля для выбора комплекса методов на опережающем этапе и статистической моделью месторождения для выбора комплекса методов на втором этапе ГГК.

Под статистической моделью искомого объекта (рудного поля или месторождения искомого типа) понимается совокупность статистических параметров, относящихся к выборке объектов моделируемого типа и характеризующих: а) частоты встречаемости, размеры и форму элементов геологического строения, имеющих прогножное значение для объектов моделируемого типа, б) корреляционные зависимости между рудоконтролирующими признаками, в) метасоматическую зональность, зональность геохимических ореолов и зональность физических полей.

В частных случаях некоторые из приведенных характеристик могут отсутствовать, заменяться или дополняться другими. Для таких характеристик, как характеристики зональности и т. п., могут быть приведены графические схемы, которыми заменяются или дополняются статистические параметры.

Статистические модели искомого объекта составляются на основе обобщения фондовых и литературных данных по рудным полям и месторождениям искомого типа. Опыт показывает, что на составление такой модели необходимы затраты труда около 1—3 человеко-месяцев инженерно-технических работников.

Статистические модели искомого объекта позволяют обоснованно наметить прогнозные критерии, выбрать комплекс исследований, определить параметры геофизических и геохимических сетей. Кроме того, они оказывают существенную помощь при интерпретации результатов комплексных геолого-геофизических исследований, направленных на выявление перспективных участков, а также при выборочной оценке рудопроявлений, геофизических и геохимических аномалий и в особенности при использовании результатов этой оценки для определения перспективности участков со сходным геологическим строением, на которых такая оценка не проводилась.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Высокая стоимость детальных поисковых работ на закрытых территориях и, следовательно, высокая цена ошибки прогноза обуславливают высокие требования к точности и достоверности прогноза.

Если при прогнозировании месторождений в районах с однорусным строением применение количественных методов прогнозирования является желательным, то при ГГК оно совершенно необходимо.

Особенностью количественных методов прогнозирования при ГГК являются: а) необходимость оценки вероятности наличия месторождения (в отличие от сложившейся практики прогнозирования в откры-

тых районах, когда оценка перспективности, как правило, либо дается в виде одного из двух значений «да» или «нет», либо оцениваемые участки ранжируются по степени относительной перспективности); б) необходимость использования алгоритмов, позволяющих осуществлять автоматизированный прогноз при переменном наборе признаков. Это требование обусловлено неравномерностью изучения площади работ в связи со стадийностью поискового процесса при ГГК. Поэтому для разных участков в процессе прогнозирования приходится использовать разные наборы прогнозных критериев.

Кроме того, алгоритмы прогноза при ГГК должны допускать использование как метрических, так и неметрических признаков. Последнее обусловлено тем, что некоторые из количественных характеристик поисковых критериев и признаков на закрытых территориях не могут быть оценены достаточно надежно. Для таких признаков в процессе прогнозирования приходится учитывать лишь факт наличия или отсутствия признака на оцениваемом участке.

В отделе методики ВСЕГЕИ был создан и опробован при решении практических задач комплект программ «Протей», позволяющий реализовать на ЭВМ типа М-20 алгоритмы прогноза, отвечающие перечисленным требованиям.

ОБЪЕМНОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ (ОГК)

В отличие от глубинного картирования объемное картирование (объемное изучение) должно вестись в одноярусных районах. Его задачей является выяснение положения геологических тел, разломов, поверхностей несогласий и других элементов геологического строения в каждой точке заданного пространства от поверхности до какого-либо глубинного уровня с достоверностью и точностью, принятыми для данного масштаба работ на поверхности. Соответственно должны быть изучены вещественный состав геологических образований, их физические свойства и перспективность на тот или иной вид полезных ископаемых. Достижение подобных результатов является весьма сложной проблемой и может рассматриваться как перспектива будущего. На современном уровне развития геологических, геофизических, геохимических методов и бурения можно говорить о более ограниченной задаче, которая должна заключаться в создании моделей объемного строения геологических объектов, имеющих рудоконтролирующее значение и вызывающих аномалии физических полей. Например, для рудных районов, металлогения которых определяется гранитными массивами, задача объемного картирования сводится прежде всего к изучению формы и внутреннего строения рудоносных плутонов и их надынtrizивных зон, что может способствовать объемному изучению магматических факторов контроля оруденения и выявлению перспективных площадей и участков внутри рудных районов. При этом глубина геофизических исследований не должна ограничиваться глубиной рентабельного промышленного освоения месторождений полезных ископаемых. Она выбирается с таким расчетом, чтобы полностью охарактеризовать в объеме каждое из исследуемых в отдельности геологических тел. Исходя из опыта работ по изучению редкометальных рудных районов эта глубина может достигать 10—15 км.

Объемное картирование базируется на хорошем знании геологии поверхности, физических полей и физических свойств пород. Поэтому ему должны предшествовать крупномасштабная геологическая съемка поверхности, геохимическая, гравитационная и наземная магнитная съемки масштабов 1:25 000—1:50 000, а также аэрогеофизическая съемка масштаба 1:25 000. Этими видами работ охватывается терри-

тория, значительно бóльшая, чем площадь, подлежащая объемному картированию. С другой стороны, комплекс методов, который используется при объемном картировании, одновременно решает задачи выявления закономерностей размещения определенных типов эндогенных месторождений и их прогнозирования. Отсюда вытекает, что после объемного картирования на выделенных перспективных участках необходимо проводить специализированные поисковые или поисково-разведочные работы, направленные на выявление скрытых месторождений полезных ископаемых. Основой для таких работ должны служить крупномасштабные геологические карты, составленные на уровнях рентабельного промышленного освоения месторождений полезных ископаемых (250—300 и 500 м).

При проведении работ по объемному картированию следует различать несколько этапов.

1. Подготовительный. Он заключается в сборе и анализе материалов предшествующих работ и проведении исследований, направленных на уточнение и детализацию имеющихся сведений о геологическом строении поверхности, физических свойствах пород и физических полях.

2. Полевых наблюдений. На этом этапе проводятся комплексные геолого-геофизические работы по интерпретационным профилям, аэромагнитная съемка на разных высотах, многочисленные замеры элементов залегания геологических тел, поверхностей несогласий и разломов разными методами, структурно-петрологические и минералого-геохимические исследования отдельных геологических тел (прежде всего интрузивных массивов), изучение контактово измененных пород надинтрузивных зон и другие виды работ. На этом этапе также производится сбор большого количества каменного материала для получения статистических данных о свойствах пород и их распределении в пространстве.

3. Моделирования. В результате комплексной интерпретации материалов полевых и камеральных работ составляются модели объемного строения отдельных геологических объектов и всего района в целом. При этом основная информация получается путем построения по интерпретационным профилям геологических разрезов верхних частей района (до глубин около 1 км) и моделей глубинных разрезов, полностью характеризующих в объеме каждый из исследуемых в отдельности геологических объектов. На основании разрезов и использования материалов площадных исследований (геологических, геохимических, структурно-петрологических, геофизических и др.) строятся карты срезов для различных уровней, схемы или карты изогипс контактовой поверхности отдельных геологических объектов, блок-диаграммы и другие документы, отражающие объемное строение района в целом. Весьма перспективным является построение прозрачных объемных моделей из стекла или других материалов, которые могут как иметь самостоятельное значение, так и послужить основой для голографического изображения результатов объемного картирования. На основании сведений об объемном строении исследованной площади изучаются закономерности размещения полезных ископаемых и выделяются участки, перспективные для постановки детальных поисковых и поисково-разведочных работ.

4. Проверки бурением. Для проверки полученных моделей объемного строения района в пределах перспективных участков производится бурение глубоких скважин и на основании этого уточняются результаты интерпретации и конкретизируются перспективные участки и их границы.

В области объемного картирования рядом организаций (ВСЕГЕИ, МГУ, ЦКГУ и др.) проводились опытные работы, показывающие боль-

шие перспективы этого вида исследований. Так, например, А. А. Духовским, В. Ф. Николаевым, М. И. Литваком, Н. Г. Бузковой, Ю. Н. Ненашевым и другими в 1969—1975 гг. проводилось объемное картирование редкометальных рудных районов. Велись комплексные геологические и геофизические исследования, при которых одновременно разрабатывались новые и усовершенствовались существующие методики. Так, например, при гравитационной съемке учитывалось влияние рыхлых отложений с помощью микросейсмических зондирований и использовалась аэрофотосъемка для определения координат пунктов гравиметровых наблюдений. Проводились аэромагнитные съемки на разных высотах (100, 500, 1000, 2000 и 3000 м) для определения формы и внутреннего строения геологических тел. При определении параметров геологических тел по геофизическим аномалиям учитывались распределение поля в верхнем полупространстве и оценка предельной эффективности и эквивалентности количественной интерпретации с помощью ЭВМ. Проводилась реставрация физических свойств пород, измененных экзогенными и гидротермально-метасоматическими процессами. Восстанавливалось положение эродированной кровли гранитных массивов на основе ориентировки трещин пластовой отдельности, текстур течений и характера наклонов видимых контактов интрузивов. Изучалась зональность контактовых ореолов интрузивных тел для определения морфологии их кровли под вмещающими породами на основе геофизических, петрографических, петрофизических исследований и бурения. С помощью структурного бурения оценивались достоверность и точность построения геолого-геофизических разрезов. В результате были получены сведения об истинных размерах рудоносных и безрудных гранитных массивов и глубинах их эрозионного среза, соотношении объемов гранитов ранних и поздних фаз внедрения, местоположении корневых частей и боковых граней массивов, об особенностях строения кровли и надинтрузивных зон, а также морфологии отдельных тел, сложенных гранитами поздних фаз, и их положении относительно поверхности кровли и современного уровня эрозии (см. гл. IV, «Интрузивные породы» и [317]).

Перечисленные данные позволили выявить основные закономерности пространственного размещения оруденения, наметить различия между рудоносными и безрудными гранитными массивами, установить критерии прогнозной оценки рудных районов на редкометальное (вольфрам-молибденовое) оруденение и выделить перспективные площади и участки при изучении конкретных районов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенные в настоящей работе методы геологической съемки различных геологических образований, а также поисковых работ и сопровождающих съемку специальных наблюдений продолжают непрерывно развиваться. Геологическая съемка, будучи многоплановой по своему содержанию, постоянно впитывает в себя новые методы исследований, возникающие в различных отраслях геологической науки. Большое значение имеет выбор рационального и оптимального комплекса методов исследований при проведении геологической съемки и поисков. Методика выбора комплекса методов исследований подробно описана в работе А. И. Бурдэ «Теоретические основы и способы определения комплекса методов при региональных геологосъемочных и поисковых работах» (Л., «Недра», 1978. 143 с.). Конечно, многие из методов геологической съемки, описанные в данной книге, существовали и будут существовать еще долгое время. Другие только начинают входить в жизнь и будут совершенствоваться, а третьи находятся в стадии научного поиска. Развивается геологическая съемка акваторий, а в недалеком будущем начнется геологическое изучение поверхности соседних с нами планет и в первую очередь Луны. Это несомненно приведет к развитию новых приемов и методов работы, в особенности дистанционных (аэрометодов и наблюдений из космоса). Проблема глубинных исследований в процессе геологической съемки повлечет за собой дальнейшее развитие геофизических методов, геохимических и техники буровых работ. Большое значение приобретут математические методы, в особенности при обработке материалов полевых наблюдений и составлении геологических карт с помощью ЭВМ. Создаются и будут созданы новые технические средства для геологической съемки, которые окажут существенное влияние на формы ее организации (индивидуальные вертолеты и вездеходы, автоматическая привязка наблюдений, технические средства для отбора образцов, проб, дешифрирования и т. д.).

Таким образом, с этих позиций «методическое руководство» не может претендовать на завершенность и должно периодически совершенствоваться и дополняться. Авторы будут благодарны читателям за присланные замечания.

ПРИЛОЖЕНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ К ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИМ КАРТАМ (ПРИНЦИП ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИ ОДНОРОДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ) *

Генетически однородные поверхности

Поверхности, созданные эндогенными процессами

Тектоногенные

- 34-Д-VI ** Предопределенные разрывными дислокациями
41-А-IV Предопределенные солянокупольными деформациями
46-А-VI Предопределенные складчатыми деформациями

Вулканогенные

- 17-Е-I Созданные эффузивными процессами
17-А-V Созданные эксплозивными процессами
15-А-VI Созданные экструзивными процессами

Поверхности, созданные совместно эндогенными
и экзогенными процессами

Псевдовулканические

- 25-Б-I Созданные процессами грязевого вулканизма

Структурно-денудационные

- 38-А-VI Препарировки пластовых структур
41-А-VI Препарировки складчатых структур
33-А-VI Препарировки тектонических контактов
28-Б-I Препарировки вулканических (интрузивных) контактов
26-А-V Созданные селективной денудацией (литоморфные)

Поверхности, созданные экзогенными процессами

- 14-Е-VI Морского происхождения
34-Е-I Озерного происхождения
10-Б-V Речного происхождения
34-Б-I Ледникового происхождения
9-А-IV Созданные водными ледниковыми потоками
6-А-VI Созданные временными потоками
1-А-I Эолового происхождения
4-А-VI Карстового происхождения
12-Б-I Речного и морского происхождения
13-Е-I Речного и озерного происхождения
21-А-VI Созданные постоянными и временными потоками
19-А-VI Созданные денудационными процессами ***
29-А-VI Эрозионно-денудационные ****
31-А-VI Денудационно-эрозионные ****
12-Г-I Денудационно-абразионные
25-Д-VI Денудационно-экзарационные

* Составлены во ВСЕГЕИ.

** Индекс цветных образцов по таблицам Д. Г. Жвания [161].






*** Только для обозначения поверхностей выравнивания.

**** Преимущественно для обозначения склонов.








**Внемасштабные условные обозначения
отдельных мелких форм рельефа
для геоморфологической карты**

Формы, созданные эндогенными процессами

Тектонические формы




41-A-VI		Новейшие антиклинальные возвышенности
41-A-VI		Новейшие синклинальные впадины
41-A-VI		Соляные купола
41-A-VI		Горстовые возвышенности
41-A-VI		Возвышенности, обусловленные внедрением лакколитов

Вулканогенные формы





41-A-VI		Действующие вулканические конусы
41-A-VI		Потухшие вулканические конусы
41-A-VI		Маары и воронки взрыва
41-A-VI		Кратеры и кальдеры действующих вулканов
41-A-VI		Кратеры и кальдеры потухших вулканов
41-A-VI		Паразитические конусы
41-A-VI		Лавовые купола




Формы,
созданные совместным проявлением
эндогенных и экзогенных процессов

Псевдовулканические формы

25-E-VI		Грязевые сопки действующие
25-E-VI		Грязевые сопки недействующие
25-E-VI		Паразитические конусы




Структурно-денудационные и литоморфные

- 29-Г-VI  Отпрепарированные антиклинали
- 29-Г-VI  Отпрепарированные синклинали
- 29-Г-VI  Отпрепарированные интрузии
- 29-Г-VI  Монадники


- 32-Е-IV  Отпрепарированные дайки
- 32-Е-IV  Отпрепарированные некки
- 32-Е-IV  Отпрепарированные твердые крутопадающие пласты

Формы,
созданные экзогенными процессами
(скульптурные и аккумулятивные)








Флювиальные






- 11-А-VI  Зачаточные эрозионные ложбины
- 11-А-VI  Прирусловые валы и гривы
- 43-Д-1  Водопады (а) и пороги (б)

Морские и озерные





- 43-Д-1  Береговые валы

Ледниковые и водно-ледниковые






- 23-А-VI  Цирки
- 23-А-VI  Кары
- 23-А-VI  Ниши
- 23-А-VI  Карлинги
- 23-А-VI  Бараньи лбы
- 23-А-VI  Конечные морены напора
- 23-А-VI  Конечные морены насыпные

- 23-A-VI  Озы
- 23-A-VI  Камы
- 23-A-VI  Ригели
- 23-A-VI  Седловины перетекания переметных ледников
- 23-A-VI  Друмлины







Гравитационные

- 29-A-VI  Россыни
- 29-A-VI  Осыпи
- 29-A-VI  Оползневые цирки
- 29-A-VI  Оползни

Мерзлотные и солифлюкционные

- 36-E-VI  Курумы
- 36-E-VI  Байджерахи
- 36-E-VI  Многолетние бугры пучения
- 36-E-VI  Гидролакколиты
- 36-E-VI  Термокарстовые западины





Карстово-суффозионные

- 36-E-VI  Карстовые воронки
- 36-E-VI  Поноры
- 36-E-VI  Устья пещер
- 36-E-VI  Суффозионные западины
- 36-E-VI  Просадочные блюда — сухие
- 36-E-VI  Просадочные блюда с водой





Денудационные

- 25-E-VI  Денудационные останцы







Эоловые

- | | | |
|---------|---|---------------------------------|
| 21-Е-VI |  | Материковые параболические дюны |
| 21-Е-VI |  | Береговые дюны |
| 21-Е-VI |  | Одиночные барханы |
| 21-Е-VI |  | Котловины выдувания |







Техногенные

- | | | |
|---------|---|---------------------------------------|
| 25-Е-VI |  | Карьеры |
| 25-Е-VI |  | Отвалы |
| 25-Е-VI |  | Участки обрушения подземных выработок |
| 25-Е-VI |  | Терриконы |





*Особенности микрорельефа
(площади развития)*

- | | | |
|----------|---|--|
| 41-Д-VI |  | Бугристый рельеф глыбовой лавы |
| 27-Е-I |  | Карры |
| 27-Е-I |  | Бугристо-оползневой рельеф |
| 45-Б-III |  | Полигональные грунты (кольца, полосы) |
| 25-Е-VI |  | Кочкарный рельеф торфяных болот |
| 9-А-VI |  | Грядово-мочажинный рельеф торфяных болот |

Формы эоловых песчаных накоплений




- | | | |
|---------|---|-------------------|
| 25-А-VI |  | Барханные |
| 25-А-VI |  | Грядовые |
| 25-А-VI |  | Бугристо-грядовые |
| 25-А-VI |  | Бугристо-кучевые |
| 25-А-VI |  | Ячеистые |
| 25-А-VI |  | Чешуйчатые |

Особенности морфологии денудационных и структурно-денудационных поверхностей, близких к горизонтальным и не выражающихся рисовкой горизонталей





- 23-A-VI  - Пологоувалистый рельеф
- 23-A-VI  Увалистый рельеф
- 23-A-VI  Холмистый рельеф
- 23-A-VI  Холмисто-увалистый рельеф

Прочие условные обозначения для геоморфологической карты






Проявления неотектонических движений

-  Изобазы новейших поднятий
-  Изобазы новейших опусканий
-  Сбросовые уступы

Структурные элементы

-  Падение пластов, бронирующих отпрепарированные структурные формы
-  Уступ — отпрепарированный разрыв
-  Оси отпрепарированных антиклиналей
-  Оси отпрепарированных синклиналей

Палеогеографические данные

-  Границы древних оледенений и их возраст
-  Границы четвертичных морских трансгрессий
-  Границы вечной мерзлоты
-  Климатические снеговые границы
-  Контуры древних отмерших долин



Контурь погребенных долин



Контурь откопанных долин



Подземные карстовые долины



Эпигенетические участки долин

Примечание. Петрографический характер бронирующих пластов может передаваться наложением серых штриховых знаков, принятых в геологии для изображения на разрезах разных пород.



Антецедентные участки долин



Трговые участки долин



Места речных перехватов



Изогипсы погребенного рельефа

Крутые обрывы и уступы,
созданные экзогенными процессами

(масштабные линейные знаки)



Денудационные



Эрозионные



Абразионные



Экзарационные



Морозно-нивальные



Мерзлотно-солифлюкционные



Термоэрозионные и термоабразионные



Гравитационные



Карстовые



Суффозионные

Прочие дополнительные условные обозначения
Границы генетических однородных
поверхностей



Четкие (резкие)



Неясные (постепенные)



Предполагаемые



Погребенные



Линии гребней междуречий



Линии тальвегов, не обозначенных водотоком



Мощность рыхлых отложений



Глубина залегания и мощность мерзлого слоя



Абсолютные отметки



Относительные превышения и углы наклона уступов и склонов

Глава I. Геоморфологические наблюдения	3
Краткая характеристика методов, применяемых для изучения рельефа различного происхождения (Ю. М. Миханков)	4
Аэрофотометоды при геоморфологических исследованиях (Г. В. Высоцкая, Н. В. Кобец)	13
Кольцевые структуры (Е. С. Кутейников, Н. С. Кутейникова)	20
Глава II. Гидрогеологические наблюдения (В. М. Тарасов)	23
Гидрогеологическое дешифрирование (К. Е. Нефедов)	25
Глава III. Инженерно-геологические наблюдения (С. В. Егоров)	27
Изучение геотехнических свойств пород	—
Изучение физико-геологических явлений	28
Инженерно-геологическое дешифрирование (А. И. Виноградова, Н. В. Кобец)	29
Глава IV. Использование геофизических методов	34
Осадочные породы (М. Г. Илаев)	—
Вулканогенные образования (И. И. Кронидов)	42
Интрузивные породы (А. А. Духовский)	50
Метаморфические образования (М. Г. Илаев)	66
Изучение разрывных нарушений (И. И. Кронидов)	74
Использование магнетизма горных пород и палеомагнетизма (Л. Е. Шолло)	78
Глава V. Гидрохимические исследования (Е. Е. Белякова)	90
Глава VI. Геоботанические и биогеохимические исследования (Н. Н. Васильева)	100
Полевые геоботанические и биогеохимические исследования	—
Обработка и интерпретация геоботанических данных	106
Обработка и интерпретация биогеохимических данных	109
Глава VII. Особенности геологической съемки дна акваторий (З. И. Гурьева, В. В. Шарков, М. А. Спиридонов)	115
Опережающие работы	116
Полевые геологосъемочные работы	—
Гидрографо-геодезическое обеспечение	117
Полевое геолого-геоморфологическое дешифрирование материалов аэрокосмических съемок	—
Сбор образцов с морского дна	123
Акустические методы	124
Подводное телевидение	128
Водолазные исследования	—
Подводное фотографирование	129
Геоморфологическое и ландшафтное изучение дна	—
Геофизические работы, выполняемые на ходу судна или на отдельных точках наблюдения	130
Технологическая схема выполнения геологосъемочных работ на акваториях	131
Глава VIII. Методы поисков полезных ископаемых	133
Аэрофотометоды (Е. С. Кутейников)	—
Визуальные методы поисков (Н. К. Ульянов)	140
Геологические методы (Н. К. Ульянов)	—
Геоботанические методы (Н. Н. Васильева)	142
Шлиховой метод (Ю. М. Миханков, М. И. Плотникова, Н. Н. Сарсадских)	146
Геофизические методы (М. Г. Илаев, В. А. Желамков, И. И. Кронидов, И. М. Кузьмина, З. И. Латикайнен)	155
Изучение измененных околорудных пород	—
Непосредственные поиски полезных ископаемых геофизическими методами	162
Геохимические методы поисков (Н. К. Ульянов)	179
Сравнительная характеристика и условия применения геохимических методов	—
Геохимическое опробование	182
Анализ геохимических проб и обработка результатов анализа	183
Интерпретация геохимических аномалий и оценка проявлений полезных ископаемых	186

Способы графического изображения (Ф. Л. Думлер)	188
Специализация поисковых работ в районах, различных по геологическому строению и комплексам полезных ископаемых	191
Месторождения нефти и газа в платформенных и складчатых районах (В. В. Лавров)	—
Полезные ископаемые осадочного генезиса в платформенных районах (В. В. Лавров)	195
Полезные ископаемые осадочного генезиса в складчатых районах (В. В. Лавров)	206
Полезные ископаемые эндогенного генезиса (Н. К. Ульянов)	209
Полезные ископаемые кор выветривания (П. Ф. Ли)	214
Полезные ископаемые, связанные с четвертичными отложениями (Ю. М. Миханков)	215
Отражение результатов поисков полезных ископаемых в отчете (Н. К. Ульянов, А. С. Кумпан)	232
Глава IX. Математические методы при обработке результатов геологической съемки и поисков (И. И. Абрамович)	233
Описание геологических объектов	—
Расчленение геологических объектов	243
Задачи сопоставления и корреляции	247
Решение прогнозно-поисковых задач	249
Глава X. Глубинное и объемное геологическое картирование	253
Глубинное геологическое картирование (ГГК) (П. А. Литвин, Л. Х. Қазимирова, М. Б. Рыбаков, М. Л. Сахновский, при участии Г. В. Гальперова)	—
Общий порядок и содержание ГГК на разных этапах	—
Методика ГГК складчатого комплекса	261
Геологическая карта погребенных горизонтов	269
Поисковые работы и прогнозирование при глубинном геологическом картировании (М. Л. Сахновский, П. А. Литвин, М. Б. Рыбаков, И. А. Ногинова)	270
Задачи поисковых работ	—
Общие особенности методики и последовательность поисковых работ при ГГК	—
Количественные методы прогнозирования	273
Объемное геологическое картирование (ОГК) (А. А. Духовский)	274
Заключение (А. С. Кумпан)	277
Приложение	278

ИБ № 2318

**МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
ПО ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ
масштаба 1 : 50 000
Т. 2**

Редактор издательства Т. М. Пономарева
Технический редактор Н. П. Старостина
Переплет художника А. И. Бородина
Корректоры М. И. Витис, Л. И. Зайцева

Сдано в набор 24.04.78. Подписано в печать 31.07.78. М-18199
Формат 70×108^{1/16}. Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая.
Печ. л. 18. Усл. л. 25,2. Уч.-изд. л. 25,3. Тираж 8000 экз. Заказ 478/497. Цена 1 р. 80 к.

Издательство «Недра». Ленинградское отделение, 193171, Ленинград, С-171, ул. Фарфоровская, 12.
Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология».

2555