МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ТРУДЫ ВСЕСОЮЗНОГО ОРДЕНА ЛЕНИНА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА (ВСЕГЕИ)

МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

ЛЕНИНГРАД
1973

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ТРУДЫ ВСЕСОЮЗНОГО ОРДЕНА ЛЕНИНА
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА (ВСЕГЕИ)

Новая серия *Том 221*

МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

ЛЕНИНГРАД
1973

УДК 550.8 : 528.94

Сборник содержит доклады годичной сессии Ученого совета ВСЕГЕИ, посвященной вопросам методики геологической съемки.

В докладах А. С. Кумпана, А И. Бурдэ, Б. Н. Горбунова рассматриваются общие вопросы методики геологической съемки и поисков, основные тенденции развития и проблемы, стоящие перед геологоразведочными работами такого рода.

Большинство докладов (В. В. Донских, М. А. Черноморского, А. А. Духовского, В. И. Васильевой и др.) посвящено современным методам геологической съемки вулканогенных, интрузивных и метаморфических образований. В нескольких докладах уделяется внимание специальным методам исследований, применяемых при геологической съемке, а также дискуссионным вопросам, новым направлениям методики и организации геологосъемочных работ (Н. Г. Бузковой, В. В. Кочегуры, А. Г. Кондиайн и Ю. М. Михайкова).

Сборник представляет интерес для широкого круга геологов-съемщиков и научных работников, занимающихся вопросами методики геологического картирования.

Научный редактор *А. С. Кумпан*

© Всесоюзный ордена Ленина научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ), 1973

ПРЕДИСЛОВИЕ

Годичная сессия Ученого совета ВСЕГЕИ посвящена методам геологической съемки. Планомерная геологическая съемка — это основа основ геологического изучения территории СССР и эффективного направления поисков полезных ископаемых. Она важна также и для удовлетворения всех других нужд народного хозяйства. 17 мая 1954 г. вышло специальное постановление Совета Министров СССР по геологической съемке, имеющее очень важное значение для ее развития. После выхода этого постановления были проведены энергичные работы по завершению составления и издания государственной геологической карты м-ба 1 : 1 000 000. Оно было решающим для развития геологической съемки м-ба 1 : 200 000 и резкого улучшения ее качества, а также издания геологических карт этого масштаба. В постановлении подчеркивалось значение съемки м-ба 1 : 50 000 для важнейших горнорудных районов.

Нельзя не отметить, что это постановление сыграло большую роль для укрепления ВСЕГЕИ как головного регионального института министерства. Достаточно сказать об учреждении Научно-редакционного совета по геологической картографии с большими правами по контролю качества геологических карт.

В результате мер, принятых по этому постановлению, объем геологосъемочных работ значительно возрос. Были стерты последние белые пятна, изученность территории страны в настоящее время в мелком масштабе достигла 100%, в м-бе 1 : 200 000 — 72%, а в м-бе 1 : 50 000 — 13,5%. При этих геологических съемках были выявлены многие тысячи проявлений полезных ископаемых, для которых при дальнейшей проверке и оценке подсчитаны запасы сотен промышленных месторождений.

Но в последние годы, в связи с окончанием геологосъемочных работ м-ба 1 : 200 000 в важнейших народнохозяйственных районах, темпы съемок этого масштаба снижены примерно в 2 раза. В то же время объемы съемок м-ба 1 : 50 000 значительно возросли.

Таким образом, в настоящее время съемка м-ба 1 : 50 000 является важным видом съемок для геологических управлений, но, к сожалению, надо признать, что положение такое, как было со съемкой м-ба 1 : 200 000 до постановления 1954 г. Мы имеем те же недостатки — погоня за километражом, за площадями в ущерб качеству работ, недостаточная увязка планшетов между собой, низкое качество работ в некоторых районах и, как следствие, — переоценка масштабов съемок и, наконец, отсутствие издания геологических карт (из 9000 листов — ничего не издано), системы их апробации и установленного общегосударственного порядка издания, который несомненно должен быть иным, чем для карт м-ба 1 : 200 000. Здесь должны иметь место децентрализация и предоставление больших прав геологическим управлениям на местах.

ВСЕГЕИ уже несколько лет назад, учитывая все это, занялся разработкой основных положений по геологосъемочным работам м-ба

1 : 50 000. К сожалению, разработка, согласование и утверждение их затянулись, но 28 марта 1968 г. они были утверждены заместителем министра В. А. Ярмолюком.

Но эти «Основные положения» должны быть уточнены и развиты применительно к местным условиям в порайонных требованиях к геологосъемочным работам м-ба 1 : 50 000.

В «Основных положениях» имеется много нового: изложены требования к так называемым «закрытым» районам, повышена роль глубинности съемок для районов двух- и трехъярусного строения, комплексирования геологических, геофизических и геохимических методов, в связи с чем возросло количество карт и появилась необходимость их специализации. Имея в виду рост собственно поисковых и поисково-разведочных работ, в них регламентированы взаимоотношения между ними и съемкой. Наконец, в «Основных положениях» в какой-то мере намечены пути для изменения создавшегося положения с изданием карт. «Основные положения» определяют требования (что должно быть выполнено), а необходимы и сведения, как получить требуемые данные. С этой целью отдел методики геологической съемки и поисков ВСЕГЕИ, совместно с сотрудниками других организаций, разработал серию «Методических указаний по геологической съемке м-ба 1 : 50 000» — 13 выпусков объемом свыше 200 печ. л. Я не буду подробно останавливаться на этих разработках — рассмотрение их и является предметом всей годичной сессии и ее докладов.

Доклады сессии не преследуют цели осветить все существующие методы геологической съемки. Да это было бы и невозможно! Представленные доклады касаются некоторых принципиальных вопросов, например, основных тенденций съемки и комплексирования ее методов (доклады А. С. Кумпана и А. И. Бурдэ) и отдельных методических вопросов — это большинство докладов сессии. Есть доклады о новых методах, некоторые дискуссионные (например, о возможном применении математических методов — доклад Ю. М. Миханкова «Система информативных признаков рельефа при поисках полезных ископаемых в процессе геологической съемки», Р. А. Жукова «Пути повышения эффективности полевых геологосъемочных работ и качества геологических карт»). Интересен доклад «Применение теории вероятностей к характеристике поисковых методов и оценке степени опоискованности района и достоверности результатов поисков при геологической съемке» — А. И. Бурдэ, очень важен доклад В. Д. Вознесенского и Г. Л. Добрецова «Принципы подготовки к изданию материалов крупномасштабных геологосъемочных работ». Здесь предстоит большая работа по установлению взаимосвязи содержания и обозначений в картах и перечня обязательных к изданию карт в разных районах.

Ряд вопросов должен быть посвящен современной полиграфической технике — стандартизации чертежной и полиграфической техники, стандартизации и выпуску полуфабрикатов полиграфической промышленности, а также вопросам организации работ (например, подготовка издательских оригиналов карт в геологических организациях, как это делается в ряде зарубежных стран — США, ФРГ).

Е. Т. Шаталов

УДК 550.8 : 528.94

А. С. Кумпан

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Возникшая на заре горного дела геологическая съемка превратилась в настоящее время в сложный и многообразный комплекс исследований, направленных на геологическое изучение района, поиски полезных ископаемых и их прогнозирование. От первых шагов полевой геологии как искусства наблюдать геологические явления и отображать их на планах, от первых геогностических карт и геологических съемок десятиверстного масштаба до современной крупномасштабной геологической съемки дистанция большого размера.

Надо отметить, что хотя мы и критикуем современную съемку и подчас говорим о том, что она мало сдвинулась с места по сравнению, скажем, с той, что проводилась в свое время в Донбассе под руководством Л. И. Лутугина, но тем не менее расстояние между современной съемкой и той, что выполнялась более 50 лет назад, очень велико.

Внешнее сходство современных и прежних геологических карт того же Донецкого бассейна еще не определяет сходства содержания исследований и их методов. Методы претерпели коренные изменения. Это можно увидеть, если сравнить между собой первое издание «Полевой геологии» Ф. Лахи 1916 г. и последнее, вышедшее в 1966 г., «Методическое руководство» В. Н. Вебера и современные методические руководства и указания.

Коренные изменения в геологической съемке произошли, главным образом, в связи с развитием аэрофотосъемки, геофизических и геохимических методов съемок и поисков, коренными усовершенствованиями методов изучения вещественного состава горных пород (спектрального, рентгеновского, электронномикроскопического, ядерных и др.), а также методов интерпретации полученных материалов (фациальный и формационный анализы, металлогенические и прогнозные построения, использование математического аппарата и т. д.). Комплексность исследований, разнообразие методов работ и подхода к геологическим явлениям существенно отличают современную съемку от съемки времен Геологического комитета и определяют разницу в глубине исследований современной и прежней геологической съемки.

Однако наращивание комплекса методов повлекло за собой возникновение двух противодействующих тенденций в современной геологической съемке — это стремление к дифференциации исследований, входящих в съемку, и, наоборот, к их интеграции.

Стремление к дифференциации исследований проявляется не только в выделении самостоятельных специальных видов съемки (геоморфологической, гидрогеологической, геохимической, геофизической), но и в стремлении к упрощению комплекса работ, входящих в съемку: к отделению съемки от поисков, к ускорению процесса съемки путем отказа от сплошного маршрутного обследования района, ограничения наземных маршрутов путем широкого использования авиации (вертолетов) и аэрофотоснимков (так называемая «ускоренная» съемка).

Применение «ускоренных» съемок в Канаде и в некоторых районах СССР (север Европейской части СССР, Северо-Восток СССР, Камчат-

ка) показало возможность получения в короткий срок представлений о геологическом строении больших, труднодоступных территорий, однако стратиграфическое обоснование съемок и в особенности поиски полезных ископаемых при этом проигрывают, поскольку элемент случайности в отыскании органических остатков и в поисках месторождений играет и будет еще играть весьма существенную роль.

Более перспективна так называемая «групповая» съемка, при которой снимается одновременно ряд соседних планшетов при широком использовании аэрофотометодов и вертолетов для заброски геологов в маршруты, перевозки буровых бригад и др. Это дает возможность уменьшить расходы на организацию и ликвидацию работ и ускорить процесс съемки.

Противоположная тенденция усложнения (интеграции) процесса съемки выражается в расширении комплекса исследований, входящих в этот процесс, с целью получения наиболее достоверных границ геологических тел и наиболее полных сведений о их составе. В первую очередь это относится к крупномасштабной съемке, от которой сейчас требуется решение целого ряда геологических, поисковых и инженерно-геологических задач. Эта тенденция, в частности, нашла свое отражение и в составленных нами «Основных положениях организации и производства геологических съемок м-ба 1 : 50 000 (1 : 25 000)» и соответствует принятым в СССР принципам геологической съемки крупного масштаба.

С тенденцией усложнения процесса съемки тесно связана следующая — третья тенденция — увеличение глубинности исследования территории в процессе съемки. Главную роль в этом сыграло развитие геофизических методов (воздушной и наземной магнитной съемок, гравиразведки и сейсморазведки). Выражается эта тенденция не только в выходе геологических съемок на закрытые территории и в составлении, кроме геологических карт поверхности, карт со снятым покровом четвертичных и платформенных отложений, но и в стремлении создать карты глубинных горизонтов, в обнаженных складчатых районах.

Требуемая глубина исследований в этих случаях определяется глубиной рентабельного освоения полезных ископаемых, а следовательно, выход съемки на закрытые территории и увеличение глубинности исследований диктуется, главным образом, необходимостью поисков скрытых месторождений полезных ископаемых.

Тенденция увеличения глубинности съемки находит свое отражение в переходе к составлению, как в СССР и странах социалистического содружества, так и в ряде капиталистических стран, серий карт поверхности и глубинных горизонтов. Примером этого является серия геологических карт м-ба 1 : 100 000 Венгерской равнины, для которой отдел Венгерского геологического института, руководимый Андреасом Ропай, на каждую трапецию составляет комплекс графики, состоящий из 25 геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических карт, включающий 5—6 геологических карт нескольких горизонтов платформенного покрова и фундамента, а также издаваемые в Англии карты с показом рыхлых отложений (дальнеприносных, driftedition) и со снятым покровом (solidedition).

В СССР крупномасштабные геологические карты территорий двух- и трехъярусного строения составляются в ряде районов (Украина, Белоруссия, Урал, Казахстан). В трехъярусном районе южного склона Украинского щита опытные работы дали очень интересные результаты. Здесь показана возможность очень подробного расчленения гнейсов под четвертичным и платформенным комплексом, достигающим мощности 300 *м*, при сравнительно небольших объемах параметрического и профильного бурения.

Стремление к увеличению глубинности исследований в процессе геологической съемки находит отражение и в попытках перейти от плоскостных карт поверхности к объемным макетам, в которых геологические тела были бы показаны в пространстве, в трех измерениях в соответствующем масштабе. Разработка методов изучения поведения в пространстве геологических тел, поверхностей несогласий и тектонических нарушений и способов графического отображения полученных результатов ведется в настоящее время во ВСЕГЕИ и НИИГА.

Сама по себе эта проблема не является новой. Определение с возможной точностью формы геологических тел и поверхностей секущих их разломов является постоянной задачей разведочных работ в отношении тел полезных ископаемых, однако получение точных (в пределах заданного масштаба) данных о положении в пространстве всех геологических тел в пределах исследованного района является новой и достаточно трудной задачей, особенно если принять во внимание, что главными методами получения необходимой информации являются геофизические исследования при ограниченных объемах буровых и горных работ.

Разработка методов объемного картирования требует и разработки методов изображения результатов этих работ путем различного рода проекций (изолиний, стерео-аксонометрических, перспективных), объемных макетов (скульптурных, прозрачных, скелетных). В идее мыслимы и математические способы изображения путем аналогового, цифрового или даже кибернетического моделирования.

При постановке исследований, относящихся к разработке методов объемного картирования, бывают возражения такого порядка, что и раньше в процессе геологической съемки требовались от геолога представления о пространственном положении геологических тел, и это должно было найти свое отражение в геологических разрезах к карте. Это, конечно, верно, но от геолога никогда не требовали изображения пространственного положения геологических тел в определенном масштабе и до определенной глубины, в том числе и тел, не выходящих на дневную поверхность.

Рисовка на разрезах геологических тел, разломов и несогласий ниже дневной поверхности обычно отражала представления геолога о поведении этих тел на глубине, а не их фактическое положение, подтвержденное специальными исследованиями.

Противоречивость тенденций упрощения и ускорения геологической съемки и ее дальнейшего усложнения находит свое отражение в представлениях о роли поисковых работ при геологической съемке. Как известно, существуют два мнения: одни считают, что съемка — лучший вид поисков и эти процессы неразделимы, другие, что поиски являются самостоятельным видом исследований, которые следуют за съемкой.

Если более внимательно рассмотреть охарактеризованные нами тенденции в развитии геологической съемки, то представляется, что противоречивость тенденций дифференциации и интеграции методов исследований является кажущейся, если методы съемки рассматривать во взаимосвязи, как части единого процесса.

Начальный этап изучения территории в мелких масштабах обычно требует охвата больших площадей при сравнительно малой густоте наземных наблюдений и небольшом объеме поисковых работ. На этом этапе, соответствующем геологической съемке м-ба 1 : 500 000 и мельче, могут быть использованы, в основном, аэрометоды, авиадесантные работы с ограниченным объемом пешеходных наземных наблюдений, геофизических, геохимических и других исследований.

На последующих этапах при геологических съемках м-ба 1 : 200 000 и в особенности 1 : 50 000 роль наземных наблюдений неизмеримо возрастает и усложняется комплекс методов геологической съемки. Наибольшей сложности комплекс методов достигает при геологической

съемке м-ба 1 : 50 000, стоящей на пороге региональных и разведочных работ, а затем в геологических съемках м-ба 1 : 10 000—1 : 2 000 он может упроститься вследствие ограничения размера исследуемой территории и уменьшения разнообразия геологических и поисковых объектов. Что же касается роли поисковых работ в процессе съемки, то она неизбежно возрастает при переходе от более мелких к более крупным масштабам, а в многолетних геологических съемках, к каким мы сейчас перешли, роль поисковых работ постепенно возрастает от начала съемки к ее завершению и при этом неизбежно усложняется комплекс поисковых методов.

Касаясь тенденций развития съемки, нельзя не упомянуть о том, что, несмотря на все наши пожелания соблюдать принцип последовательных приближений, т. е. постепенно переходить от мелкомасштабных съемок к крупномасштабным, фактически как у нас в СССР, так и в других странах наблюдаются две противоположные тенденции съемки от мелких масштабов к крупным и наоборот. Это связано с неравномерностью экономического развития отдельных районов. Можно сказать, что это два взаимопроникающих процесса, в котором движение от общего к частному (от мелких к крупным масштабам) является определяющим.

Имея в виду эти две тенденции в развитии геологической съемки от мелких масштабов к крупным и наоборот, а также неопределенность самого понятия «масштаб геологической карты», некоторые специалисты предлагают узаконить разномасштабность съемки, т. е. отказаться от обязательной точности проведения границ и степени расчленения разреза, требуемых масштабом основы. Иначе говоря, отдельные части снимаемой площади предлагается изучать с различной детальностью в соответствии со сложностью строения территории и составом полезных ископаемых, т. е. участки простого строения и не представляющие интереса будут сниматься с точностью, не отвечающей масштабу карты, другие — в масштабе, а для наиболее сложных и перспективных даются крупномасштабные врезки. В защиту подобного предложения выдвигается довод экономичности этих работ (отпадает необходимость последовательного перекрытия одних и тех же площадей съемками различных масштабов) и тот факт, что и сейчас при геологической съемке отдельные участки изучаются с разной детальностью. Однако узаконение разномасштабности съемок поверхности неприемлемо по следующим причинам:

1. Нарушается стадийность в изучении района, что неизбежно приведет к необходимости последующего возвращения на эту же площадь с целью детализации строения недостаточно исследованных участков.

2. Нарушается достигнутая, хотя и несовершенная, унификация требований к содержанию геологических карт разного масштаба, а все это вместе приведет не к экономии, а к непроизводительным затратам и путанице *.

С переходом от мелкомасштабных съемок к крупномасштабным уточняются наши представления и соответственно усложняется легенда геологической карты, и здесь хотелось бы остановиться на вопросе о сериях листов и легендах серий.

Известно, что в свое время были разработаны серии листов геологических карт м-ба 1 : 200 000 и легенды к ним. Вместе с Инструкциями по подготовке к изданию геологических карт м-ба 1 : 200 000 эти документы привели к известной дисциплине в производстве геологической съемки и унификации содержания геологических карт. Однако унификация имеет две стороны, одна из которых — единые требования, легенда, раскраска упрощают процесс извлечения информации из геологических карт и идут на пользу, а другая, требующая изложения инфор-

* Эти рассуждения не относятся к картам глубинных уровней, которые могут быть разномасштабными.

мации в определенных рамках легенды, поневоле искажает или обедняет содержание полевых наблюдений. Так, например, требование обязательного формального утверждения каждого дополнения к легенде повлекло за собой стремление авторов вогнать в прокрустово ложе легенды все имеющиеся в районе толщи горных пород, и какая-нибудь угленосная «михайловская свита» в соседнем районе вдруг оказалась вулканогенной или морской карбонатной, совершенно не соответствующей своему стратотипу.

Приведу еще один пример: на геологических картах Армении четвертичные лавовые поля показывались одним цветом и индексом, тогда как, строго говоря, они разновозрастны, и не показывались хорошо видимые на местности и аэрофотоснимках весьма близкие по возрасту лавовые покровы и потоки, поскольку обозначений для них в инструкции нет, а легендой они не предусмотрены. Некоторое время не принимались к печати (также по формальным причинам) карты со снятым чехлом четвертичных или платформенных образований, хотя в ряде районов они основывались на огромном фактическом материале. Только в последние годы мы в НРС стали требовать представления геофизических схем и прогнозной оценки полезных ископаемых.

Объем объяснительной записки к картам очень мал и не позволяет всесторонне осветить геологию района.

Все это ведет к тому, что из карт и объяснительных записок искусственно исключается ценная и объективная геологическая информация.

Значит ли это, что не должно быть инструкций? Нет не значит, но они должны быть достаточно гибкими. Нельзя также делать жесткой легенду, особенно геологических карт м-ба 1 : 50 000. Это повлечет за собой развитие формализма в составлении геологических карт. Должны быть общие принципы, а не общая заранее составленная, утверждаемая сверху, легенда. Крупномасштабная геологическая съемка показала необходимость уточнения существенных принципов стратиграфической классификации и номенклатуры.

Надо отметить, что создание обязательной единой легенды для группы листов м-ба 1 : 50 000 с разделением слагающих территорию этих листов геологических образований на жесткой хроностратиграфической основе, без учета их фациальных особенностей и принадлежности к разным структурно-формационным зонам, приведет к формальному картированию (съемке и изображению на картах) нереальных геологических тел с надуманными границами.

Мы полагаем, что пришло время обратить внимание на критику существующих правил стратиграфической классификации и номенклатуры, изложенную в работах Ф. Г. Гурари, Л. Л. Халфина, А. М. Садыкова, группы геологов СНИИГГИИМСа и др.

В особенности несовершенство наших принципов стратиграфической классификации может проявиться при крупномасштабных съемках. Приведу примеры: на многих геологических картах Казахстана и других регионов СССР в основании тех или иных толщ показаны базальные конгломераты, занимающие строго определенное положение в стратиграфической колонке, тогда как в действительности их границы являются скользящими (разновозрастными). Скользящие границы присущи и другим геологическим телам, в особенности вулканогенного происхождения. Однако в сводной легенде и на карте мы стараемся «вогнать» эти тела в определенный возрастной интервал с нереальными границами и тем самым искажаем истинное положение вещей. Известны и другие примеры, но еще больше подобных случаев может скрываться за страницами ранее составленных стратиграфических описаний и сводными стратиграфическими разрезами. Следовательно, нужна разработка новой классификации и нового кодекса, где бы литологиче-

ский принцип выделения геологических тел занял подобающее ему место.

Это совершенно не означает, что нужно забыть хроностратиграфический принцип и вернуться к «древнему красному песчанику». Нужно найти разумное сочетание обоих принципов.

Проблемы геологической съемки являются следствием тенденций и направлений ее развития. Пожалуй, сейчас наиболее трудными задачами геологической съемки является изучение глубинного строения районов двух-трехъярусного строения и получение объемных представлений о геологических телах, о чем уже было изложено выше, но также очень сложная проблема совершенствования существующих правил стратиграфической классификации.

Кроме того, крупномасштабная геологическая съемка предъявила новые требования к изучению различных геологических образований. В области геологической съемки осадочных пород она не терпит нашей беспомощности в расчленении и корреляции кремнистых толщ, а также монотонных, немых терригенных, флишоидных и карбонатных образований, и хотя в области изучения кремнистых толщ и наметились какие-то сдвиги (например, метод электронномикроскопических реплик), однако простых полевых методов их корреляции пока нет.

Вообще следует отметить, что развившиеся в последнее десятилетие исследования в области литологии, минералогии и геохимии осадочных пород, к сожалению, имеют «камерный» характер. Они как бы замыкаются на себя и не направлены на практические цели расчленения и корреляции осадочных толщ при геологической съемке (руководство Л. Н. Ботвинкиной по изучению слоистости, исследования по использованию математических методов в области литологии, исследования в области осадочных формаций и т. д.).

В области изучения четвертичных отложений требуется разработка новой стратиграфической номенклатуры этих отложений, системы признаков низших генетических их категорий, совершенствование методов определения палеоклиматической обстановки накопления четвертичных пород и составления геологических карт (многослойных).

В геоморфологические исследования, обычно тесно связанные с изучением четвертичных отложений, помимо совершенствования принципов и методов составления геоморфологических карт, необходимо внедрять приемы количественного анализа рельефа и разрабатывать системы признаков для определения связи рельефа с геологическим строением и полезными ископаемыми.

Крупномасштабная съемка потребовала совершенно иного подхода к стратиграфии вулканогенных образований и к их расчленению и оконтуриванию. Стало совершенно ясным, что нельзя вести геологическую съемку вулканогенных образований без отыскания геологическими и геофизическими методами древних вулканических аппаратов и отвечающих им лавовых полей, без изучения строения этих аппаратов на различных уровнях эрозионного среза и палеовулканологических реконструкций вулканических сооружений, что только таким путем можно выяснить последовательность образования вулканогенных пород и их взаимоотношения друг с другом по вертикали и латерали.

В области геологической съемки интрузивных пород потребовалась разработка методов корреляции одновозрастных интрузий при различной глубине эрозионного среза, а следовательно и методов восстановления кровли интрузива. Особенно остро встали вопросы расчленения однородных и расслоенных интрузий, а также комагматичности разных интрузивных фаз, включая жильную, и интрузивных и вулканических образований. Выяснилась малая надежность признаков, которые бы позволили определять металлогеническую специализацию интрузивных

комплексов и разделять интрузии и отдельные фазы на рудоносные и безрудные, что очень важно в поисковых целях и для съемки.

В области геологической съемки метаморфических образований особое значение приобрели расшифровка последовательности наложения складчатых деформаций и выяснение на этой основе стратиграфии метаморфических толщ. С указанными выше вопросами тесно связана проблема выявления несогласий в допалеозойских образованиях, которая имеет чрезвычайно важное значение для расшифровки стратиграфии и тектоники метаморфических толщ. Очень важной проблемой остается по-прежнему выявление первичной природы метаморфических пород, а также типизация метаморфических комплексов на основе установления связи проявлений метаморфизма со стратиграфией и тектонической структурой. По характеру указанных соотношений можно судить, в какой мере метаморфизм может быть критерием относительного возраста пород.

Весьма важные проблемы в области геологической съемки стоят перед сопровождающими ее аэрогеологическими, геофизическими и геохимическими исследованиями. Нет возможности все их перечислить и частично они уже упоминались.

В области аэрогеологии весьма плодотворны исследования ЛАЭМ и, пожалуй, наиболее интересны из них те, которые опираются на физические и геохимические характеристики пород (спектральные, тепловые, радарные и лазерные съемки). Очень интересны и перспективны методы изучения мелководий с помощью аэрофотосъемки, аэрогеофизических методов, гелокаторов и подводных наблюдений. Весьма интересны результаты, полученные при аэрофотосъемке полей развития вулканических образований с больших высот — 12—18 *км*. Аэроснимки с этих высот дали возможность судить о проявлении мегатрещиноватости и связи с нею вулканических аппаратов, а также о строении древних вулканов. Очень интересные материалы несомненно будут получены при анализе снимков, сделанных с искусственных спутников Земли и космических кораблей.

В области применения геофизики в геологической съемке кроме методов изучения двух- и трехъярусных районов, о чем упоминалось ранее, весьма важно развитие методов комплексной интерпретации результатов геофизических исследований.

В области геохимических исследований возникла необходимость выбора наиболее рациональных способов геохимического картирования и составления геохимических карт для целей геологической съемки и поисков полезных ископаемых. Здесь большое значение имеет развитие методов установления в процессе геологической съемки сочетаний элементов во взаимосвязанной системе «неизмененные породы — зона окисления — вода — растения», а также способов графического изображения полученных взаимоотношений в этой системе.

Очень важной и трудной проблемой геологической съемки является преодоление субъективности в понимании и оценке геологических явлений и разработка методов, позволяющих давать этим явлениям объективную характеристику.

Достаточно ясно, что различия в геологических картах одной и той же площади, снятых разными исследователями, бывают связаны не только и не столько с неправильной оценкой геологических явлений одним из исполнителей, сколько с различиями в трактовке этих явлений, оценкой значимости тех или иных факторов, предвзятости ранее выработанных представлений о геологии района и некритическим отношением к ним, различиями в интерпретации геологических границ между обнажениями и даже иным пониманием таких, казалось бы, наиболее определенных геологических объектов, как границы несогласного залегания, складки, нарушения и даже горные породы и геологические те-

ла. Когда-то в Горном институте была дискуссия по философскому вопросу «Что такое факт в геологии?», и один из преподавателей сказал: «Когда я подъезжаю к обнажению на лошади, то для лошади обнажение является фактом, а для меня — вещью в себе».

Но если оставить в стороне шутки и агностицизм подобного отношения к геологическим явлениям, то нужно признать, что различия в их трактовке во многом объясняются отсутствием достаточно четких признаков геологических объектов. Это требует отбора из множества признаков, получаемых в результате применения разнообразных методов изучения геологических объектов (литологических, геохимических, геофизических), тех, которые являются определяющими и в первую очередь таких, какие имеют количественную характеристику. Это относится к горным породам, геологическим телам, тектоническим нарушениям и т. д.

Разработка количественных показателей для геологических объектов — горных пород, фаций, формаций, геологических тел и т. д. — является одной из ближайших и выполнимых задач математической геологии, в большей мере выполнимых, чем математическое моделирование геологических процессов, которые мы пока что плохо себе представляем, и при этом исследовании позволяем порою себе немыслимые в природе допущения.

Одной из сложных и необходимых задач является также разработка количественных показателей масштаба карт и соответствия выполняемых работ заданному масштабу. Пока что наши оценки карт субъективны. Мы оцениваем их по принципу «чем подробнее, тем лучше», и идеальной считаем такую карту, на которой нанесено все то, что позволяет ее масштаб. При этом карты платформенных областей с широкими и расплывчатыми контурами всегда кажутся нам выполненными хуже карт, составленных в сложно дислоцированных районах, если даже на тех и других изображено все то, что позволяет масштаб. Единственной объективной оценкой соответствия карт заданному масштабу является соблюдение точности нанесения границ и максимально допустимые мощности нерасчлененных отложений, но этих показателей совершенно недостаточно для объективной оценки карт.

Возможным способом количественной объективной оценки соответствия карт заданному масштабу является введение показателей изученности главнейших вопросов геологии района, например коэффициентов, показывающих отношения мощности изученных в обнажениях частей разреза к общей его мощности, прослеженных геологических границ к общей их протяженности и т. д. Однако введение таких количественных показателей является достаточно сложной задачей и требует, в первую очередь, разработки количественных характеристик геологических объектов, что уже было выше отмечено.

Следует подчеркнуть несовершенство существующих методов фиксации геологических явлений в поле, хранения получаемой информации и отражения ее на геологических картах и в объяснительных записках. Медленно совершенствуется и вводится в практику система записи, а диктофоны пока не испытаны и не нашли применения.

Не является секретом, что геолог, работающий с архивами, фондовыми и опубликованными литературными материалами, во-первых, тратит много времени на поиски информации, а во-вторых, что является наиболее существенным, не получает из этой информации отчетливых представлений о районе. Последнее является следствием не только субъективности подхода к геологическим явлениям в поле, но и несовершенством передачи информации в геологических документах (перегрузка карт разнообразной и иногда несущественной информацией, плохая система условных обозначений и т. д.). Это требует разработки на современной научной основе совершенного «языка» карт и методов

хранения и передачи информации. И, наконец, очень важной проблемой является разработка и усовершенствование рационального и наиболее экономического комплекса исследований при геологической съемке и форм ее организации и проведения, о чем будет сообщаться в докладе А. И. Бурдэ.

В заключение следует отметить, что поставленные вопросы требуют дальнейшего развития опытно-методических работ. К сожалению, эти работы развиваются у нас очень медленно в производственных организациях, которые, казалось бы, должны были в первую очередь заботиться о развитии опытных работ как основе прогресса в геологической съемке. Препятствием для развития опытно-методических работ в производственных организациях является имеющий место в геологической съемке формализм. Однако мы не сомневаемся, что геологическая съемка, а следовательно и опытно-методические работы будут выполняться на уровне, соответствующем нашему космическому веку.

УДК 550.8 : 528.94(47+57)

А. И. Бурдэ, Б. Н. Горбунов

РАЙОНИРОВАНИЕ СССР ПО УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

Наиболее важными условиями проведения геологосъемочных работ крупного масштаба являются тип района по геологическому строению и перечень главных для данного района полезных ископаемых. Типом района определяется применимость отдельных методов исследования, количество информации, получаемой от каждого вида исследований, и методика проведения работ, а в особенности главных полезных ископаемых — направление специализации исследований (т. е. перечень элементов геологического строения, требующих углубленного изучения), соотношение съемки и поисков, методика и задачи поисковых работ. Обычно выделяемые в качестве условий проведения геологосъемочных работ показатели обнаженности, геологической сложности, степени дешифрируемости и проходимости определяют лишь часть технико-экономической стороны работ и не могут считаться столь же важными, как первые два. В связи с этим при районировании учитывались в основном эти два показателя: тип района и перечень главных полезных ископаемых. В основу излагаемого районирования положены две классификации: типов районов и полезных ископаемых.

Классификация по типам районов представляет несколько более подробную классификацию типов районов, содержащуюся в «Основных положениях...» (1968 г.). Последняя основана на понятии ярусности, примененном к типизации районов по условиям проведения геологических исследований В. И. Красниковым (1965) и А. Я. Дубинским и Н. В. Неволиным (1963). В отношении проведения крупномасштабных геологосъемочных работ и их глубинности территория СССР может быть разделена на 4 части.

Западная часть в составе Белорусского, Прибалтийского, Центрального, Центрально-Черноземного, Волго-Вятского, Поволжского, Северо-Кавказского, Закавказского, Юго-Западного, Донецко-Приднестровского и Южного экономических районов *, части Северо-Западного района (прилегающей к г. Ленинграду, Карелии и Кольскому полуострову) и западной части Уральского района (Предуралье, Урал и узкая полоса Зауралья), Северный Казахстан.

Районы западной части имеют хорошо развитую промышленность, густую сеть путей сообщения и значительные людские резервы. Трудности ее дальнейшего развития связаны с напряженным топливно-энергетическим балансом и иногда недостатком воды для питья и промышленных нужд. Для этой части СССР в таких двух- и трехъярусных районах, как Украина, Южная Белоруссия, Центральный, Центрально-Черноземный, Уральский, частично Северо-Кавказский и Северо-Западный, рациональна постановка крупномасштабных геологосъемочных работ для изучения складчатого комплекса на глубинах до 200 *м*, а в отдельных случаях и на глубинах до 500—800 *м* (районы Южной Белоруссии, например).

---

* По сетке Госплана СССР.

В одноярусных районах типа $П_0$ и двухъярусных районах типа $ЧП_0$ (Центральный, Белорусский, Поволжский, Волго-Вятский и другие) можно ставить геологосъемочные работы м-ба 1 : 50 000 для изучения покровного комплекса в целях поисков воды до глубин порядка 500 *м*, *а прочих полезных ископаемых (осадочные месторождения меди* и пр.) — до глубин порядка 200—300 *м*.

В одноярусных районах типа С и двухъярусных районах типа $П_вС$, расположенных в горных областях, изучение до глубины 100—200 *м* рационально проводить лишь в пределах районов расположения известных месторождений, а в остальных случаях, по-видимому, следует в основном ограничиваться изучением поверхности в пределах глубины эрозионного вреза и построением представлений о глубинном строении на основе экстраполяции наблюдений на поверхности в глубину. При этом отдельные наиболее важные для оценки перспектив территории элементы геологического строения следует более детально изучать на глубине с помощью геофизических методов. Одной из характерных особенностей крупномасштабных геологосъемочных работ в этой части СССР (особенно на равнинных площадях) является частое объединение их с инженерно-геологическими и гидрогеологическими исследованиями, что прямо связано с высокой степенью освоенности этих территорий.

Северо-Западная часть — большая часть Северо-Западного *района (бассейны рек Северной Двины и Печоры, Полярный и Северный Урал)* и большая часть Уральского района (Северный Урал, Западно-Сибирская низменность) — характеризуется слабым развитием промышленности, энергетики, транспортных путей, слабой заселенностью и суровыми климатическими условиями. Главные для нее полезные ископаемые (нефть, газ, каменный уголь и т. п.) в большинстве случаев не требуют для оценки перспектив проведения крупномасштабных геологосъемочных работ. Исключением являются лишь сложные *нефтегазоносные структуры и районы Печорского угольного бассейна.* В этих случаях геологосъемочные работы м-ба 1 : 50 000 имеют четкую поисковую направленность, что и определяет в каждом отдельном случае их глубинность. Массовые геологосъемочные работы м-ба 1 : 50 000 проводятся лишь в районах Полярного и Северного Урала и Пай-Хоя и Тимана, причем эти районы следует сейчас рассматривать как одноярусные типа С, глубина исследования которых, как правило, обеспечивается современным эрозионным срезом или $П_0С$ и С (Тиман), изучаемые на глубину до 200 *м* ниже эрозионного вреза.

Северо-Восточная часть — северные части Восточно-Сибирского и Дальневосточного районов (Якутия, Таймыр, север Красноярского края, Северо-Восток СССР, северная часть юга Дальнего Востока, Камчатка). Большая часть этих районов неблагоприятна для освоения *из-за отсутствия дорог, энергетической базы, слабой заселенности* и суровых климатических условий. Промышленное освоение этих территорий связано в первую очередь с эксплуатацией дефицитных полезных ископаемых (алмазы, золото, никель и др.), а остальные полезные ископаемые используются в основном для удовлетворения местных нужд. Значительная часть этих территорий еще очень плохо изучена, многие черты геологического строения и общие перспективы в отношении полезных ископаемых неясны. По-видимому, во многих случаях здесь следует сначала ставить групповые съемки м-ба 1 : 200 000, аэрофотогеологические съемки и специализированные поисковые работы на геологической основе м-ба 1 : 200 000 и только потом проводить крупномасштабные геологосъемочные работы (часто в групповом варианте). Проведение последних следует ограничить в основном изучением высокоперспективных площадей, причем рассматривать их как одноярус-

ные, необходимая глубинность изучения которых обеспечивается глубиной эрозионного вреза. Съемки со значительной (до 100—200 *м*) глубинностью следует проводить только в пределах промышленно освоенных районов.

Юго-восточная часть включает Казахстанский, Среднеазиатский районы и южные части Западно-Сибирского, Восточно Сибирского и Дальневосточного районов. В пределах этой части СССР существуют многочисленные промышленные узлы и усиленно формируются сейчас новые промышленные комплексы. Трудности ее освоения связаны с недостаточно развитой транспортной сетью и недостатком людских ресурсов (особенно в Восточно-Сибирском и Дальневосточном районах), а на западе еще и недостатком пресной воды в ряде районов Казахстана и Средней Азии. В связи с интенсивным промышленным освоением крупномасштабные геологосъемочные работы в этой части СССР проводятся и будут проводиться очень широко. По ярусности эта часть СССР очень разнообразна и различается для равнинных и горных областей.

Горные области Дальнего Востока, Забайкалья и Саян представляют одноярусные районы типа С, необходимая глубина изучения которых в большинстве случаев обеспечивается изучением поверхности. Специальные работы по глубинному (до 200 *м*) изучению этих областей следует ограничивать районами, в которых имеются промышленные предприятия, причем и в этом случае они в большинстве ограничиваются проведением геофизических и геохимических исследований. В пределах Казахстанского и Среднеазиатского районов горные области также одноярусные — типа С, но здесь в соответствии с более высокой степенью освоенности значительно увеличивается доля работ по глубинному изучению (особенно в районах типа Рудного Алтая). Однако и здесь в ряде районов изучение следует проводить на небольшую глубину, вплоть до изучения только поверхности в пределах эрозионного вреза, а в таких районах, как Памир, проведение крупномасштабных геологосъемочных работ в больших объемах нерационально.

Весьма существенным вопросом изучения районов типа С в этой части СССР (и особенно на востоке ее) является выяснение комплекса перспективных полезных ископаемых. Количество полезных ископаемых, по отношению к которым рассматривается перспективность этих районов, заметно уменьшается с запада на восток, вплоть до появления на востоке районов, для которых она рассматривается относительно двух-трех, а иногда и всего одного полезного ископаемого. Такое положение безусловно связано со степенью изученности этих территорий. Выяснение перечня таких полезных ископаемых требует проведения специальных исследований, из которых в первую очередь следует назвать геохимическое изучение коренных пород.

В пределах рассматриваемой части СССР существуют достаточно обширные районы с двух- и трехъярусным строением различного типа, требующие изучения на значительную глубину. Это в первую очередь различные межгорные впадины и районы, перекрытые осадочными и вулканогенными полого залегающими образованиями. Геологосъемочные работы на таких территориях уже в силу необходимости оценки перспектив полезных ископаемых будут иметь глубинность до 200—300 *м*, причем в дальнейшем эта величина будет расти. В ближайшее время, однако, геологосъемочные работы будут приурочены к окраинам таких районов и поэтому глубинность их будет характеризоваться в основном приведенными цифрами.

В ряде районов рассматриваемой части СССР проведение крупномасштабных геологосъемочных работ в настоящее время нецелесообразно. К ним в первую очередь относятся нефтеносные земли, на кото-

рых постановка таких работ имеет смысл лишь в условиях сложного геологического строения нефтеносных структур или в районах развития других (кроме нефти) полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

Дубинский А. Я., Неволин Н. В. Основы методики геолого-геофизического изучения глубинного геологического строения равнинных территорий СССР. Сов. геология, № 9, 1963.

Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., Недра, 1965.

Библиотека

УДК 550.814 : 528.77

В. В. Донских, В. И. Наркевич, В. Ф. Николаев, Е. Е. Рожко.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОФОТОСНИМКОВ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

До последнего времени при проведении геологосъемочных работ дешифрирование материалов аэрофотосъемки, в основном, осуществляется в полевых условиях, при которых возможно использование только стереоскопов и несложных, но мало эффективных измерительных устройств (паралактические линейки, палетки, параллаксометры, стереовысотомеры). Лишь иногда по аэрофотоматериалам заблаговременно, перед выездом в поле, составляются схематические геологические карты, но и в этом случае применяется тот же дифференцированный метод, когда процесс дешифрирования распадается на ряд отдельных операций, выполняющихся с помощью простейших приборов. Применяющаяся ныне технология геологического дешифрирования не позволяет полностью использовать свойства современных аэрофотоснимков и контактные отпечатки удовлетворительного качества старых залетов. Это приводит к потерям как качественной, так и количественной информации, заключенных в них. Так, при измерении элементов залегания пород по аэрофотоснимкам м-ба 1 : 25 000, полученным аэрофотоаппаратом АФА-ТЭ с $f = 100$ *мм*, высоты точек местности могут быть определены с ошибкой $\pm 0{,}5$—$0{,}6$ *м*, а их плановое положение с погрешностью $\pm 0{,}6$—$1{,}2$ *м*. Однако такая точность может быть достигнута только при условии применения стереофотограмметрических приборов стационарного типа.

В 1964—1966 гг. по предложению В. И. Наркевича (ЛАЭМ) в содружестве с геологами ЦКГУ и ВСЕГЕИ была начата разработка методики инструментального геологического дешифрирования аэрофотоматериалов, которая бы позволила совместить процессы наблюдения, измерения и переноса контуров со снимка на карту.

На первом этапе работ использовался зарубежный прибор 3 класса — стереомикрометр Сантони. Этот прибор прост по конструкции, транспортабелен, имеет увеличение 4× и плавающую систему обводки контуров, что обеспечивает быстрое перемещение стереопары в любом направлении и рисовку карты одновременно с наблюдением.

Вначале была составлена фотогеологическая карта м-ба 1 : 50 000 для листа с широким развитием метаморфических и эффузивных пород (фотограмметристы В. И. Наркевич, И. А. Черкасов; геологи В. Е. Проскурников и Н. А. Смирнова). Несмотря на плохое качество используемых снимков (залет 1947 г.), составленный вариант карты содержал 60—70% контурной геологической информации. К сожалению, работа с фотогеологической картой не была продолжена в поле, вследствие чего не удалось оценить ее производственный эффект.

Одновременно с вышеупомянутой была начата работа по составлению структурно-геологической карты гранитного массива Кызыл-Тас (фотограмметристы Л. А. Макарова, В. И. Наркевич и И. А. Черкасов; геологи М. М. Набоков, В. Ф. Николаев и Е. Е Рожко). Карта вычерчивалась по аэрофотоснимкам м-ба 1 : 25 000 в м-бе 1 : 12 500, после чего фотомеханическим путем была уменьшена в два раза. Основное содержание карты составляли: различные петрографические разности

гранитоидов, слагающих массив Кызыл-Тас; останцы кровли вмещающих пород, дайки, жилы, зоны грейзенизации, разломы и трещинная решетка интрузии. Замеры систем трещин, по предложению И. А. Черкасова (1967), осуществлялись графоаналитическим способом. Нагрузка замеров составляла 20—25 на стереопару. Всего было выполнено около 300 замеров элементов залегания трещин, что позволило охарактеризовать все основные системы крутопадающих трещин. Полевая проверка структурно-геологической карты показала достаточную точность геологических контуров для м-ба 1 : 25 000. Расхождение полевых и фотограмметрических определений элементов залегания трещин были порядка 3—5°.

Новая технология геологического дешифрирования была применена для обработки мелкомасштабных аэрофотоснимков. В порядке эксперимента была составлена структурно-геологическая карта м-ба 1 : 35 000 того же массива Кызыл-Тас по аэрофотоснимкам м-ба 1 : 100 000 (фотограмметрист В. И. Наркевич, геологи Б. С. Зейлик, Е. Е. Рожко). Оказалось, что по мелкомасштабным контактным отпечаткам лучше, чем по крупномасштабным, прослеживаются общие закономерности строения массива. Были выделены средне-крупнозернистые граниты, гранит-порфиры дополнительной интрузии, существенно-калиевые граниты.

Все это позволяет составить четкое представление об основных этапах становления интрузии Кызыл-Тас. Кроме того, удалось установить, что существенно-калиевые гранитоиды приурочены к двум региональным разломам, пересекающим интрузив, что не было отмечено при крупномасштабной геологической съемке. По-новому удалось классифицировать разломы, выявив среди них взбросы и сбросы. Отрисованные трещинные решетки хорошо отражают структуру массива. В целом полученная карта по геологической нагрузке соответствует м-бу 1 : 100 000, т. е. масштабу аэрофотоснимков. Проделанная работа заставляет более серьезно подойти к вопросу дешифрирования мелкомасштабных аэрофотоматериалов, поскольку основные элементы строения массива могут быть выявлены всего за 2—3 дня.

Для определения эффективности методики универсального геологического дешифрирования аэрофотоснимков в районе с широким развитием осадочно-вулканогенных образований в сравнении со старым дифференцированным методом была проведена обработка контактной печати м-ба 1 : 28 000, охватывающей территорию восточной части Калмакэмельской синклинали (фотограмметристы Л. А. Макарова, В. И. Наркевич; геологи В. В. Донских, В. Ф. Николаев). Дешифрирование осуществлялось разными способами: с помощью: 1) простого стереоскопа и 2) стереомикрометра Сантони. Полученные результаты сравнивались с кондиционной геологической картой м-ба 1 : 50 000, составленной В. Я. Кошкиным (рис. 1, 2).

Схематическая карта, составленная с помощью стереоскопа, несет почти всю контурную информацию, которая имеется на кондиционной геологической карте, указывая на то обстоятельство, что метод прослеживания контактов при пешеходных маршрутах может быть сведен до минимума. Однако схематическая карта и способ, которым она составлена, обладают рядом серьезных недостатков (внемасштабность, малая точность, низкая производительность). Вместе с тем она отражает многие элементы разрывной тектоники, стратиграфическую последовательность пород и намечает ряд интрузивных тел силлового характера.

При наблюдении под стереомикрометром удалось обнаружить много дополнительной информации, которая плохо или совсем не улавливалась под стереоскопом. Оказалось возможным расчленить многие толщи на отдельные пачки и горизонты и проследить их в пределах

всей картируемой площади. В ряде случаев некоторые пачки были уверенно прослежены под небольшим чехлом четвертичных отложений. Было выделено значительное количество мелких штоко- и дайкообраз-

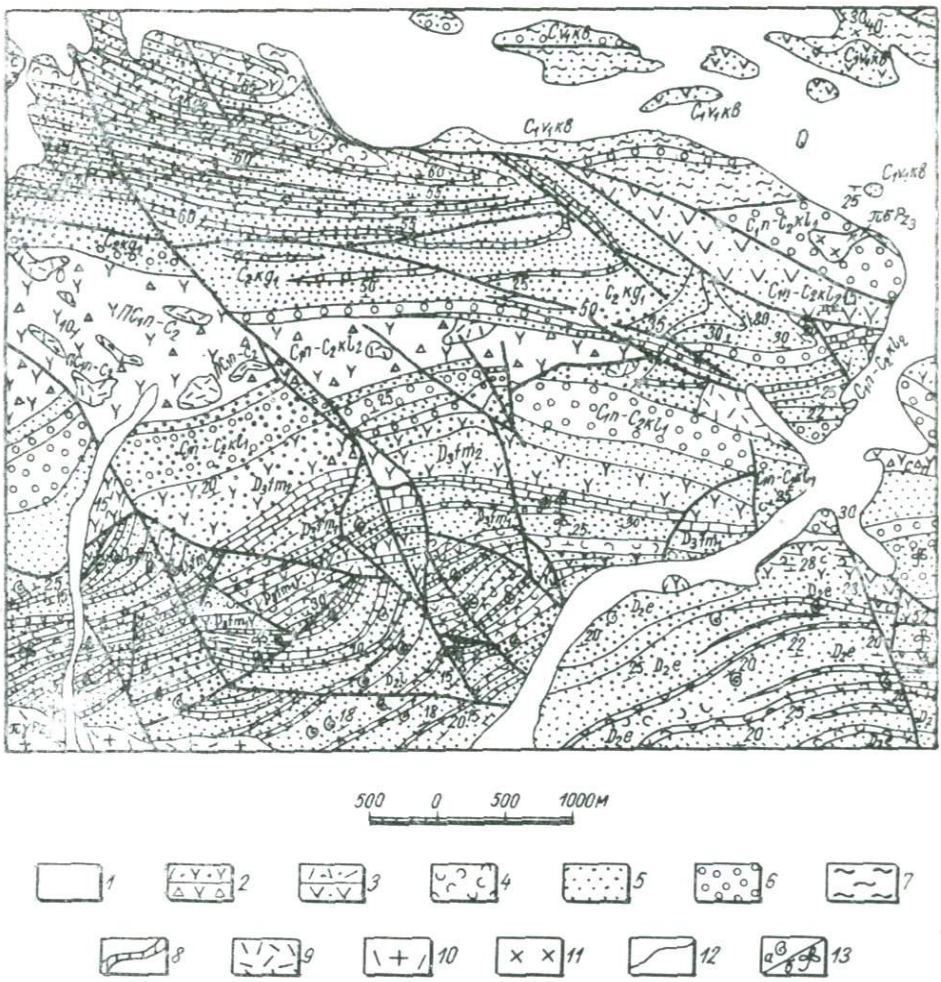


Рис. 1. Фрагмент геологической карты южного обрамления Калмакэмельской синклинали (по В. Я. Кошкину).

Q — четвертичные отложения; C_2kg_2 — верхняя подсвита керегетасской свиты; C_2kg_1 — нижняя подсвита керегетасской свиты; C_1n—C_2kl_2 —верхняя подсвита калмакэмельской свиты; C_1n—C_2kl_1 — нижняя подсвита калмакэмельской свиты; C_1b_1kb — кемельбекская свита; D_3fm_2 — верхняя подсвита, D_3fm_1 — нижняя подсвита; D_2e — эйфельский ярус, нерасчлененный; πC_{1-2}—C_2 — субвулканические тела, $\pi\gamma Pz_3$ и $\pi\delta Pz_3$ — интрузивные тела. *1* — пески, супеси, галечники; *2* — вверху: туфы дацитовых порфиров, внизу: туфолавы и туфобрекчии того же состава; *3* — вверху: туфы липарит-дацитовых порфиров, внизу: туфы андезитового, трахиандезитового и андезит-дацитового состава; *4* — пепловые туфы; *5* — песчаники, туфопесчаники; *6* — конгломераты, туфоконгломераты, *7* — углистые и карбонатные сланцы; *8* — известняки; *9* — липарит-дацитовые порфиры; *10* — гранит-порфиры; *11* — кварцевые диориты; *12* — тектонические нарушения; *13* — места сбора фауны *(а)* и флоры *(б)*.

ных тел основного состава, характеризующиеся темным фототоном и скалистыми формами микрорельефа. Во многих участках оконтурены неправильные тела кислого состава, легко дешифрируемые по светлому фототону. Выяснилось, что большинство субвулканических тел приурочено к определенным зонам субширотного простирания.

Использование универсального прибора позволило выполнить большое количество замеров элементов залегания как отдельных пластов, так и контактовых поверхностей интрузивных тел, что в совокупности с материалами, уточняющими пространственное положение осадочно-

Рис. 2. Фрагмент фотогеологической карты южного обрамления Калмакэмельской синклинали.

1 — четвертичные отложения; *2* — верхняя подсвита каркаралинской свиты: туфопесчаники, туффиты, туфы дацитового состава; *3* — нижняя подсвита каркаралинской свиты: песчаники, пепловые туфы, туффиты; *4* — верхняя подсвита кемельбекской свиты: песчаники, конгломераты, углистые и глинистые сланцы, туфы; *5* — нижняя подсвита кемельбекской свиты: песчаники, конгломераты; *6* — турнейский ярус: конгломераты, песчаники, туфы дацитовых порфиров, известняки; *7* — верхняя подсвита D_{3fm_3}: песчаники, известняки, мергели, *8* — средняя подсвита D_{3fm_2}: песчаники, конгломераты, пепловые туфы; *9* — нижняя подсвита D_{3fm_1}: песчаники, конгломераты, туфы дацитового состава; *10* — эйфельский ярус: песчаники, пепловые туфы, туффиты, известняки; *11* — отдельные четко дешифрируемые слои; *12* — субвулканические тела кислого состава; *13* — субвулканические тела среднего состава; *14* — субвулканические тела основного состава; *15* — разрывные нарушения *а* — наблюдаемые, *б* — предполагаемые; *16* — элементы залегания пород; *17* — пункты фототриангуляции.

вулканогенных толщ, позволило более правильно отобразить структуру изучаемого района по сравнению с картами предшественников, которые указывали на коробчатый, асимметричный характер складчатой структуры, тогда как с учетом положения внедренных тел она имеет правильное симметричное строение.

С помощью стереомикрометра удалось наметить большое количество разрывных нарушений, многие из которых при обычном способе дешифрирования принимались за простые трещины. Но хотя выделяемые толщи и подверглись весьма интенсивному дроблению, больших

перемещений вдоль дизъюнктивных нарушений не наблюдается и нет объективных данных за существование в этом районе глубинных разломов, которые можно было бы классифицировать как пограничные, разделяющие различные структурно-формационные зоны, имеющие, по мнению предшествующих исследователей, свои особенности геологического строения.

На втором этапе опытно-методических работ определялась пригодность для целей геологического дешифрирования отечественного стереофотограмметрического прибора 2 класса точности — стереографа Дробышева. На этом приборе была составлена геологоструктурная карта Жанетской палеовулканической структуры (фотограмметрист Е. Г. Сергеев, геолог Е. Е. Рожко). В качестве исходных материалов впервые использовались фильмы (негативы) залетов.

Результаты наблюдений на стереографе показали хорошую сходимость фотогеологической карты с геологической, составленной в процессе геологической съемки м-ба 1 : 50 000 В. В. Донских, и дали возможность детализировать строение и взаимоотношения пачек вулканогенных образований. Оказалось, что среди выдержанных в целом пачек вулканогенных пород нередко присутствуют выклинивающиеся горизонты, а отдельные тела вообще имеют линзообразную форму. В пачке кислых туфов и игнимбритов, слагающих сопку Жанет, были прослежены отдельные пласты, которые дали некоторое представление о структуре этого участка. Было отрисовано несколько субвулканических тел, но большая их часть, по-видимому, плохо дешифрируется. Тело интрузии гранофировых гранитов подразделяется на фазы. Выделяется дайковая фация. Невскрытый купол Жанетской интрузии аляскитовых гранитов фиксируется системой дугообразных трещин. Хорошо дешифрируются молодые шлейфы, причем в них видно направление перемещения обломочного материала. Под чехлом четвертичных отложений во многих случаях уверенно прослеживаются дизъюнктивные нарушения.

Составленная фотогеологическая карта по точности нанесения контуров и нагрузке во многих отношениях превосходит ранее сделанную для этого района геологическую карту, хотя и имеются некоторые упущения (отсутствие субвулканических тел, литологии).

Изготовление подобной карты перед проведением геологической съемки смогло бы не только высвободить время для поисковых работ, но и помогло бы более точно расшифровать эту сложную полеовулканическую структуру.

На следующем, третьем этапе проведения опытно-методических работ изучалась возможность применения нового дифракционного метода при анализе карт трещинной тектоники интрузивов, составленных по аэрофотоматериалам в предполевой период. Дифракционный метод структурного анализа позволяет производить изучение всего интрузива в целом и отдельных его блоков — тектонических, структурных или генетических. Суть метода сводится к тому, что, если на пути пучка монохроматического света поместить искусственную решетку, нарушающую нормальное прохождение света, то на приемном экране (фотопластинке) возникнет дифракционная картина, параметры которой находятся в полном соответствии с особенностями просвечиваемой решетки (Черкасов, 1967). Например, равнопериодичная решетка с взаимнопараллельными линиями на дифракционной картине будет изображена в виде трех точек: центральной (нулевой минимум) и двух боковых (максимумы первого порядка), находящихся на равном расстоянии от центральной точки. Расстояние между максимумами первого порядка обратно пропорционально периодичности решетки, а соединяющая их прямая перпендикулярна направлению линий решетки. Если же решетка состоит из нескольких систем параллельных линий, то дифракцион-

ная картина имеет один общий нулевой максимум и несколько максимумов первого порядка, кратных числу систем.

Карты трещинной тектоники интрузивных тел могут рассматриваться как несовершенные решетки, у которых отдельные линии, входящие в систему, не строго параллельны и имеют нарушенную периодичность. Дифракционная картина от такой решетки будет менее четкой, поскольку происходит размазывание изображения как нулевого, так и максимумов первого порядка. Тем не менее в случае наличия закономерностей в распределении систем трещин в интрузиве максимумы первого порядка располагаются по полю дифракционной картины не хаотически, а локализуются в определенных участках, что позволяет судить об основных диапазонах направлений трещинных систем.

Дифракционные картины несовершенных решеток иногда значительно усложняются из-за появления максимумов высших порядков на прямой, соединяющей нулевой максимум и максимум первого порядка. Интенсивность освещенности дополнительных максимумов зависит от двух факторов: от порядкового номера максимума и ширины щелей решетки. Она убывает при удалении от нулевого максимума и при увеличении ширины щелей решетки. Установлено, что наиболее благоприятные условия создаются при приблизительно равном соотношении щелей решетки и промежутков между ними. В этом случае интенсивность освещенности максимумов высших порядков, по сравнению с максимумом первого порядка, в несколько раз меньше, поэтому они легко удаляются подбором выдержки при экспонировании. Следовательно, при фотографировании дифракционных картин лучше использовать способ, рекомендованный И. А. Черкасовым, заключающийся в утолщении трещин и в объединении попарно близко расположенных трещин, не искажая их направления. Некоторая трудоемкость изготовления дифракционных картин окупается достижением полного учета всех закономерностей строения трещинных решеток интрузивных тел, что при обычных камеральных методах не всегда возможно.

Дифракционный метод структурного анализа применялся для изучения следующих гранитных массивов: Кумала, Қызыл-Қайнар, Қызыл-Тас, Қызыл-Тау, Ортау.

Опыт, накопленный за время проведения экспериментальных работ по инструментальному геологическому дешифрированию аэрофотоматериалов и дифракционному анализу карт трещинных решеток, позволяет сделать ряд выводов, касающихся вопросов методики работы с аэрофотоматериалами в подготовительный период.

Для составления одного листа фотогеологической карты м-ба 1 : 50 000 района со сложным геологическим строением на стереомикрометре Сантони затрачивается около 30 рабочих дней двух геологов-дешифрировщиков и 6—8 дней техника-фотограмметриста. Производительность универсальных стереофотограмметрических приборов, выпускаемых ГУГКом в 1,5—2 раза ниже. Дешифрирование удобнее производить вдвоем, попеременно меняясь. Это позволит вычерчивать карту в течение всего рабочего дня, не опасаясь ослабления остроты зрения. Если партии на 2—4 года выделены несколько планшетов, все они должны быть отдешифрированы в первый предполевой сезон.

Составление фотогеологической карты целесообразно начинать после обобщения материалов предшествующих исследователей и просмотра аэрофотоснимков невооруженным глазом. Первый просмотр включает в себя как наблюдение участков на отдельных снимках, так и сразу на большой площади. При площадном структурном анализе обычно лучше пользоваться уточненными фотосхемами или фотопланами. При их отсутствии или неудовлетворительном качестве, когда детали геологического строения, ясно различимые на контактных отпечатках, на фотосхемах не улавливаются, можно изготовить накидной монтаж из

аэрофотоснимков четных или нечетных номеров. Обладая необходимой детальностью, крупномасштабный накидной монтаж обеспечивает большую обзорность, поволяющую осуществлять анализ взаимоотношений различных типов фоторисунков на значительных площадях и производить широкую экстраполяцию между объектами дешифрирования, обнаруженными в виде фрагментов на отдельных аэрофотоснимках.

В ряде случаев появляется необходимость в монтаже небольшого числа контактных отпечатков, охватывающих определенную структуру или в пределах которых наблюдаются интересные взаимоотношения между геологическими объектами. Наиболее сложные участки просматриваются под стереоскопом.

На основании полученных данных выделяют район с наиболее изученным геологическим строением и, что особенно важно, сравнительно свободный от четвертичных отложений. Отдешифрировав этот район правильно, в дальнейшем будет легче разобраться в особенностях геологии соседних, менее изученных участков; ведь проще проследить уже намеченные толщи и горизонты, чем их выделить. Следовательно, необязательно начинать рисовку карты с какого-то определенного угла планшета. Иногда даже оказывается более целесообразным вначале отдешифрировать некоторые участки смежного листа, если для него уже имеется кондиционная карта того же или более крупного масштаба. В этом случае, хотя и будет отрисована большая площадь, проигрыша во времени не окажется, так как не нужно будет его тратить на выяснение объема отдельных толщ. Качество же фотогеологической карты несомненно повысится, поскольку многие стратиграфические подразделения будут иметь возрастную характеристику.

Первоначально фотогеологическая карта должна вычерчиваться на ватмане с размеченной сетью опорных топографических точек в масштабе, вдвое более крупном, чем окончательный вариант геологической карты, так как результаты полевых исследований регистрируются в м-бе 1 : 25 000.

Рекомендуется следующий порядок наблюдения и переноса информации со стереопары снимков на карту. В первую очередь, как наиболее легкочитаемые, обводятся все границы рыхлых отложений с коренными породами. Затем прослеживаются наиболее крупные тектонические нарушения. В результате вся площадь стереопары оказывается разбитой на множество небольших участков, в пределах которых производится дальнейшая рисовка карты. Если же рисовать бессистемно, то не исключена возможность пропуска некоторых деталей.

Все породы в пределах стереопары должны быть разделены на пачки, обладающие характерным фоторисунком, специфическими формами микрорельефа, определенным фототоном, устанавливается наличие и выявляется число легко опознаваемых слоев в составе толщ и т. д. Хорошо дешифрируемые слои в пределах пачек должны выделяться самостоятельно в качестве маркирующих горизонтов. Последней операцией является определение элементов залегания поверхностей слоев, интрузивных контактов и разрывных нарушений.

Когда просматривается следующая стереопара, то после нанесения участков распространения рыхлых отложений и основных разрывных нарушений следует продолжить все контуры с соседней, уже отрисованной стереопары. Затем должна производиться отрисовка участка за участком с целью выявления геологических тел и тектонических нарушений, которых не было на соседней стереопаре.

В отдельных случаях, благодаря использованию материалов предшествующих исследователей, некоторым пачкам можно присвоить определенный возраст. Чаще, однако, мы не имеем данных о возрасте выделяемых пачек, но протягивая их на большое расстояние и зная их элементы залегания, мы можем наметить относительную возрастную

последовательность напластования. Именно таким образом нами было выяснено, что оба крыла Калмакэмельской синклинали сложены породами одного возраста, в то время как на кондиционной геологической карте, составленной В. Я. Кошкиным, они трактовались как разновозрастные образования.

При сложном строении тех или иных участков, при наличии многочисленных мелких объектов и знаков элементов залегания, отдельные фрагменты карты могут составляться в более крупном масштабе. На основную же карту должны быть перенесены лишь наиболее важные контурные линии так, чтобы детальность этого участка соответствовала степени детализации карты в целом.

После составления фотогеологической карты по крупномасштабным снимкам имеет смысл просмотреть под стереограмметрическим прибором мелкомасштабные контактные отпечатки с целью выявления макроструктур, которые обычно плохо улавливаются на крупномасштабных аэрофотоснимках. При этом уточняется морфология региональных тектонических нарушений, внутреннее строение интрузивных тел и их положение во вмещающей раме.

При наличии специальной дифракционной установки (организация дифракционного анализа под силу любой геологической экспедиции) изучаются закономерности трещинной тектоники интрузивных тел и определенных их частей.

На заключительном этапе, в период обобщения и осмысливания всего собранного материала, производится окончательная увязка полученной фотогеологической карты с данными предшественников и результатами интерпретации геофизических полей. Итогом работ является предварительная геологическая карта, используемая в дальнейшем в поле в качестве основы, которая уточняется. На нее выносятся линии дополнительных контактов, пропущенные при камеральном геологическом дешифрировании, а также наносится или уточняется литологическая нагрузка.

В заключение следует сказать, что новая технология дешифрирования аэрофотоснимков может дать несомненный производственный эффект, особенно в открытых районах со сложным геологическим строением, характеризующихся огромным количеством мелких деталей, имеющих существенное значение для расшифровки и познания геологических структур, структур рудных полей и отдельных рудопроявлений. Снижение потерь информации при инструментальном дешифрировании позволяет уменьшить потребные масштабы аэрофотосъемки и отказаться от повторных залетов, если качество аэрофотосъемки, выполненное для топографического картирования м-ба 1 : 25 000, удовлетворяет современным требованиям геологов.

Существенным моментом новой технологии дешифрирования является резкое увеличение роли и значения предполевого камерального дешифрирования, полнота и достоверность которого в значительной степени определяют эффективность нового метода. Дополнение и исправление в поле предварительных геологических карт проще и быстрее, чем проведение полевого дешифрирования аэрофотоснимков в полном объеме. Геолог освобождается от необходимости выполнения многих графических и вычислительных процессов в полевых условиях, что позволяет ему больше заниматься собственно поисковыми работами.

Проведенные экспериментальные работы следует рассматривать лишь как первый опыт. Необходимо продолжать начатые эксперименты по отработке новой технологии и методики геологического дешифрирования при различных технических (типы пленок, масштабы аэрофотосъемок, типы стереограмметрических приборов) и физико-географических условиях. В самое ближайшее время необходимо решить вопрос о выпуске отечественных универсальных приборов 3 класса, точность

которых вполне отвечает требованиям, предъявляемым при составлении геологических карт м-ба 1 : 50 000 и 1 : 25 000, а производительность гораздо выше аналогичных приборов 2 класса. Этот прибор должен обладать более простой конструкцией и более высокими характеристиками, чем стереомикрометр «Сантони». В частности, целесообразно сконструировать наблюдательную систему с переменным увеличением в пределах 2—8×.

ЛИТЕРАТУРА

Авдеев А. В., Зейлик Б. С. О становлении гранитных массивов Ортау и Кызылтау. Тр. ВСЕГЕИ, т. 75, 1962.

Набоков М. М., Наркевич В. И., Рожко Е. Е., Черкасов И. А. Применение универсального стереофотограмметрического прибора 3 класса точности при изучении трещинной тектоники интрузивного массива. Сб. «Фотограмметрическая обработка и дешифрирование аэрофотоснимков». Л., АН СССР, 1967.

Черкасов И. А. Исследование возможностей дифракционного метода дешифрирования снимков. Сб. «Фотограмметрическая обработка и дешифрирование аэроснимков». Л., АН СССР, 1967.

Шевченко Е. В. Структурные и петрографические особенности некоторых пермских плутонов Центрального Казахстана. Изд-во Львовск. геол. о-ва при Гос. ун-те им. И. Франко, 1951.

УДК 550.8 : 528.94 : 551.21

В. В. Донских, В. Н. Зелепугин, И. И. Кронидов, Г. В. Дитмар

ИЗУЧЕНИЕ ДРЕВНИХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Переход к крупномасштабной геологической съемке потребовал качественно нового подхода к изучению вулканических образований. В частности, этот масштаб съемки вызвал необходимость выявления древних вулканических аппаратов, а также установления зон влияния отдельных вулканов.

Методы изучения вулканических аппаратов во многом зависят от сохранности вулканов, которая определяется, главным образом, величиной эрозионного среза. Сравнивая палеовулканические области (Армению, Дальний Восток, Центральный Казахстан и др.) по степени эродированности вулканических аппаратов, можно выделить области с малой, средней и большой величиной эрозионного среза.

Для районов с малой величиной эрозионного среза характерно: 1) повсеместная хорошая сохранность вулканов, иногда вплоть до сохранения центрального кратера; 2) преобладание слоистых стратифицированных вулканогенных толщ на склонах построек; 3) большое развитие околожерловых фаций; 4) четкое периклинальное залегание пород; 5) наличие радиальных трещин; 6) низкотемпературные изменения прижерловых пород (алунитизация, аргиллизация, появление серы, вкрапленности пирита и т. д.).

Для районов со средней глубиной эрозионного среза характерно: 1) участие вулканических пород в строении многочисленных прогибов или грабенов среди довулканического фундамента; 2) наличие реликтов вулканических аппаратов, экструзивных куполов, некков, которые нередко выражены в положительных формах рельефа; 3) присутствие образований жерловой и субвулканической фаций, примерно в равных объемах; 4) присутствие даек, штоков и других тел; 5) появление среди измененных пород пропилитов и вторичных кварцитов.

Для районов с большой глубиной эрозионного среза характерно: 1) преобладание субвулканических интрузий и корней жерловых образований; 2) присутствие во многих случаях в центральных частях вулканических аппаратов гипабиссальных интрузий (в основном гранитоидов); 3) наличие кольцевых разломов, ограничивающих участки брахисинклинальных или брахиантиклинальных структур; 4) широкое развитие пород фундамента, вулканические толщи сохраняются лишь в опущенных блоках (в кальдерах и тектоно-вулканических депрессиях); 5) широкое развитие вторичных кварцитов и пропилитов.

Указанные признаки (таблица) могут служить ориентировочными показателями глубины среза вулканических построек.

В соответствии со степенью эродированности вулканических аппаратов применяются определенные приемы их выявления и изучения.

Для районов с малой величиной эрозионного среза, кроме обычных методов геологической съемки, большую помощь при изучении вулканических аппаратов оказывают геоморфологические и геофизические методы исследования, а также дешифрирование аэрофотоснимков. Они особенно помогают при выделении вулканических аппаратов и выяснении характера их внутренней структуры. Геофизические методы позво-

Признаки глубины эрозионного среза вулканических аппаратов

Глубина	Характерные признаки			
	геологоструктурные	петрографические	прочие	геофизические
Малая	Вулканические постройки, выраженные в рельефе Кальдеры и депрессии с преобладанием вулканических форм рельефа Экструзивные купола, радиальные трещины; круговые и секторные сбросы Несогласия, столбчатая отдельность жерловых пород	Эффузивный облик жерловых пород (лавы, туфолавы, туфы и брекчии) Наличие флюидальности, пузыристых миндалекаменных структур и т. д.	Преобладание среди вулканических толш прижерловых фаций Низкотемпературные изменения пород (аргиллизация, алунитизация и др.)	Изометричные магнитные аномалии, сбусловленные рельефом вулкана Пониженные значения поля тяжести над вершинными кальдерами взрывного происхождения
Средняя	Реликты вулканических построек (МЕЗЫ), эродированные купола, некки Кальдеры и грабены с остатками вулканических толщ Радиально-концентрические трещинные структуры. Появление субвулканических и интрузивных тел	Появление пород субинтрузивного облика	Появление пород фундамента среди вулканических толщ Появление вторичных кварцитов и пропилитов	Кольцевые магнитные аномалии
Большая	Преимущественно кольцевые структуры с признаками периклинального и центроклинального залегания вулканогенных пород Глубоко эродированные кальдеры и депрессии (вулканогенные толщи сохраняются только в наиболее опущенных блоках) Гипабиссальные интрузии в центральных и периферических частях кольцевых кальдерных структур	Полнокристаллические структуры гипабиссальных пород	Широкое развитие пород фундамента, вторичных кварцитов и пропилитов	Кольцевые магнитные аномалии Часто с аномалиями пониженных значений Δq, связанных с интрузивными телами

ляют установить приуроченность вулканических аппаратов к крупным тектоническим нарушениям. Дешифрирование аэрофотоснимков помогает в определении границ фаций, отдельных потоков и покровов. Палеомагнитные методы позволяют провести корреляцию разобщенных вулканогенных образований и определить их относительный возраст. В некоторых случаях по геофизическим данным удается определить внутреннее строение вулканического аппарата и некоторые элементы подлавовых структур.

Для районов со средней глубиной эрозионного среза основное значение при выявлении и изучении вулканических аппаратов приобретает крупномасштабная геологическая съемка, при которой большое внимание уделяется оконтуриванию границ отдельных фаций и анализу мощностей. Эти исследования необходимы для установления вулканического аппарата и типа его деятельности. При выявлении таких элементов вулканических аппаратов, как экструзивные купола, некки, субвулканические тела и др., большую помощь оказывают методы геофизики и дешифрирование аэрофотоснимков.

Для районов с большой глубиной эрозионного среза при крупномасштабной геологической съемке производится тщательный структурный и фациальный анализы, благодаря которым вулканические образования разделяются на покровные, жерловые и субвулканические фации, устанавливается положение главных и побочных каналов вулканов и связь тех или иных покровных образований с соответствующими центрами излияния. Расшифровке вулканических структур большую помощь оказывает дешифрирование аэрофотоснимков. Крупные структуры — кальдеры и брахисинклинали, гипабиссальные интрузии, крупные разрывы и т. д. выделяются на основе анализа карт магнитного поля и силы тяжести.

Итогом изучения вулканических аппаратов являются палеовулканические реконструкции. Они представляют собой важнейшую задачу при выявлении и установлении стадий формирования, формы и общих контуров вулканических построек.

Чем больше эрозионный срез вулканического аппарата, тем труднее производить его реконструкцию. В то же время эродированные вулканические постройки позволяют «заглянуть» в недра вулканических аппаратов, ближе подойти к познанию механизма зарождения вулканических извержений и поствулканических процессов.

С этих позиций представляют интерес разновозрастные вулканические области, характеризующиеся разным эрозионным срезом вулканических аппаратов.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В РАЙОНАХ С МАЛОЙ ВЕЛИЧИНОЙ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА (НА ПРИМЕРЕ АРМЕНИИ)

Рассмотрим вулканический массив Арагац. Признаками его вулканического происхождения (рис. 1, *а*) являются: 1) изометричная форма массива в плане, пологие выпуклые склоны и четко выраженная поверхность плато в вершинной части; 2) периклинальное и в общем согласное со склонами массива залегание вулканических толщ и возрастание их мощности от периферии к центру массива; 3) система кольцевых уступов в вершинной зоне и по периферии массива; 4) радиально-концентрическое расположение шлаковых конусов на массиве. Эти особенности Арагаца свидетельствуют, что данный массив (за исключением современной вершины) представляет собой крупный андезит-базальтовый щитовой вулкан, поднимающийся до высоты 3200 *м*. Такие же признаки характерны и для многих других щитовых построек Армении (Б. Аждаак, Гузгюнлу и др.).

В северо-восточной части плато над щитовой постройкой возвышаются четыре вершины, которые являются реликтами стратовулкана, заложенного в кальдере щитового. На это указывают: 1) кольцевое расположение вершин, имеющих вогнутые внешние склоны и окружаю-

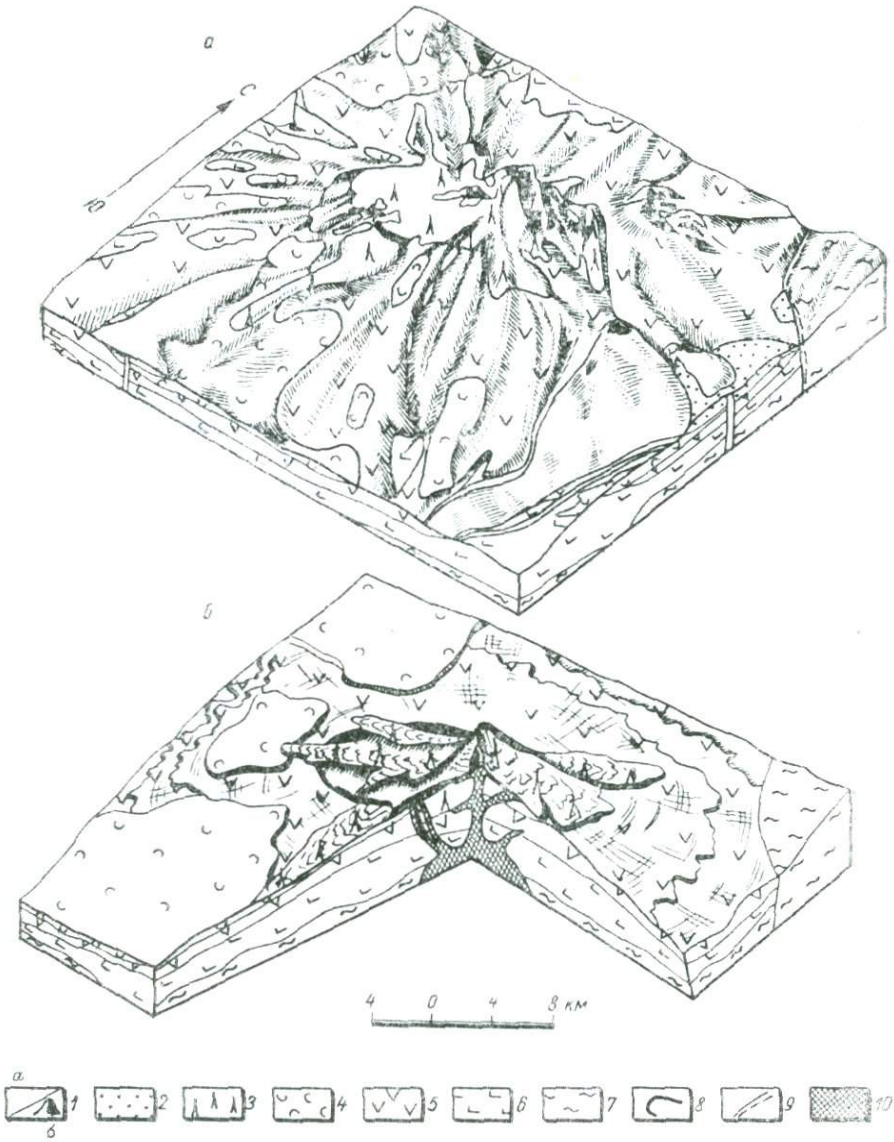


Рис. 1. Схема вулканической постройки Арагац. *а* — современная обстановка, *б* — реконструкция.

1 — базальты, андезито-базальты шлаковых конусов (*а*), шлаковые конусы (*б*); *2* — озерные отложения Апаранского района; пемзовые пески, глины; *3* — андезиты, андезито-дациты, туфы и туфопесчаники стратовулкана, *4* — туфолавы и туфы артикского, бюраканского и других типов; *5* — андезиты щитовой постройки; *6* — андезито-базальты, базальты основания щитовой постройки; *7* — породы фундамента постройки; *8* — граница кальдеры; *9* — разрывные нарушения; *10* — подводящий канал и магматическая камера

щих воронкообразную впадину, в стенках и на дне которой наблюдаются алунитизированные породы с вкрапленностью серы и пирита; 2) периклинальное залегание пород на склонах вершин; 3) присутствие кальдеры, целиком заполненной андезит-дацитовыми лавами, прослеживающимися от центрального конуса и обрывающимися у ее края и лишь на отдельных участках уходящими за ее пределы.

Контуры кальдеры и отдельные потоки андезит-дацитовых лав за ее пределами отмечаются положительной аномалией ΔT. Диаметр кальдеры — 8—12 *км*. Переход кальдеры, совпадающей с поверхностью плато, кроме того, отмечается уступообразными окончаниями хребтов щитовой постройки и шлаковыми конусами по краю плато. Все это дает нам возможность определенным образом реконструировать массив Арагац. На предлагаемой блок-диаграмме (см. рис. 1, *б*) представлены основные элементы сложной вулканической постройки: щитовой вулкан, вершинная кальдера и молодой стратоконус в северо-восточной части кальдеры.

Туфолавы и туфы Артикского и Бюроканского типов наблюдаются только на склонах древней щитовой постройки, охватывают ее полукольцом с западной и южной сторон и не поднимаются выше 2500 *м*, причем туфолавы наблюдаются в интервале высот 2500—1500 *м*, а туфы — ниже (туфы Ереван-Ленинаканского типа). Поэтому образование их следует связывать со временем формирования вершинной кальдеры Арагаца.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В РАЙОНАХ СО СРЕДНЕЙ ВЕЛИЧИНОЙ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА (НА ПРИМЕРЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА)

В пределах Дальнего Востока большинство окраинных и внутриконтинентальных вулканических поясов принадлежит к районам со средней величиной эрозионного среза. Вулканогенные образования в них часто не имеют сплошного развития и в большинстве случаев выступают среди пород довулканического фундамента в обособленных вулкано-тектонических структурах.

Одним из примеров может служить Каменушинская структура (рис. 2), находящаяся на Малом Хингане. Характерными особенностями таких вулкано-тектонических структур являются: 1) изометричная или овальная форма, размеры их варьируют от 10 до 30 *км* в поперечнике; 2) центроклинальное залегание пород, углы падения, обычно крутые вблизи выступов фундамента, постепенно выполаживаются к центру, где они нередко сохраняют переклинальное залегание; с внешней стороны брахисинклинальных структур вулканогенные породы залегают большей частью почти горизонтально; 3) наличие сложной системы кольцевых нарушений, отделяющих тектоно-вулканические структуры от выступов складчатого фундамента и от соседних тектоно-вулканических структур; 4) большое развитие даек, штоков и других субвулканических тел; 5) приуроченность жерловых и экструзивных тел (сложенных лавами и лавобрекчиями), а иногда и субвулканических интрузий к центрам небольших брахиантиклиналей, расположенных в средней и краевой частях структуры; 6) увеличение размеров обломочного материала в пирокластах к центру депрессий.

На основании этих особенностей можно заключить, что подобные тектоно-вулканические структуры, по-видимому, представляют собой опущенные своды древних вулканических построек. Эти постройки по своему строению приближаются к сложным вулканам центрального типа. Детали их строения в настоящее время сохранились в виде некков, экструзивных куполов, реликтов слоистых туфо-лавовых брахиантиклиналей и т. д. Признаками жерловин можно назвать: крутые контакты субвулканических и экструзивных тел, чередование в них массивных, флюидальных и сферолоидных лав, смену крутопадающей флюидальности пологонаклоненной, присутствие стекловатых пород в краевых частях тел и обломков пород фундамента в лавобрекчиях

и др. Размеры жерловин достигают нескольких сотен метров в поперечнике. Последовательность стадий образования вулкано-тектонических структур такого типа изображена на рис. 3.

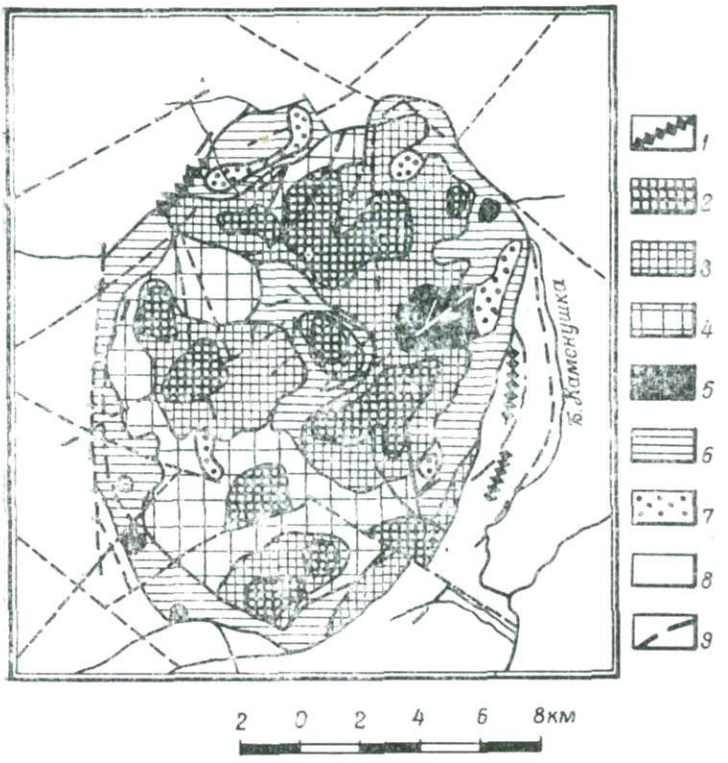


Рис. 2. Схема строения Каменушинской вулкано-тектонической структуры (по Е. М. Белову и Г. Н. Таловой).

1 — лайки липаритов; *2* — крупнопорфировые липариты внутренних частей экструзий; *3* — афировые липариты и игнимбриты внешних частей экструзий; *4* — кластолавы липаритов краевых частей экструзий; *5* — лавы липаритов и андезитовых дацитов жерловой фации; *6* — лавы и туфы липаритов и андезитовых дацитов склонов вулканического конуса; *7* — туфоконгломераты, туффиты и углистые алевролиты; *8* — довулканический фундамент; *9* — разрывные нарушения

РЕКОНСТРУКЦИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В РАЙОНАХ СО ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ ГЛУБИНОЙ ЭРОЗИОННОГО СРЕЗА (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА)

Примером области распространения вулканических аппаратов с большой глубиной эрозионного среза может служить Центральный Казахстан. Выявление аппаратов здесь производится по совокупности прямых и косвенных признаков. К прямым признакам относятся: наличие жерловых образований (часто четко отмечающихся в магнитном поле), остатки вулканических структур (кальдер, вулкано-куполов и др.), концентрация и зональное распределение субвулканических интрузий. К косвенным признакам относятся: непостоянство мощностей и быстрое выклинивание отдельных вулканогенных толщ, особенно покровов лав, наличие средних и малых по размерам гипабиссальных интрузивных тел, которые нередко при большом эрозионном срезе принимаются за более поздние интрузивные образования. При изучении гипабиссальных штоков необходимо обращать внимание на столбчатую отдельность и восстающие слои течения, которые часто сохраняются в их верхних частях. Эти признаки характерны, в частности, для Кишкен-

Кугульдурского штока, окруженного по периферии силлами, лакколитами и покровами трахитов (рис. 4).

Характерной особенностью интрузивной деятельности в палеовулканических областях является частая приуроченность интрузий к цент-

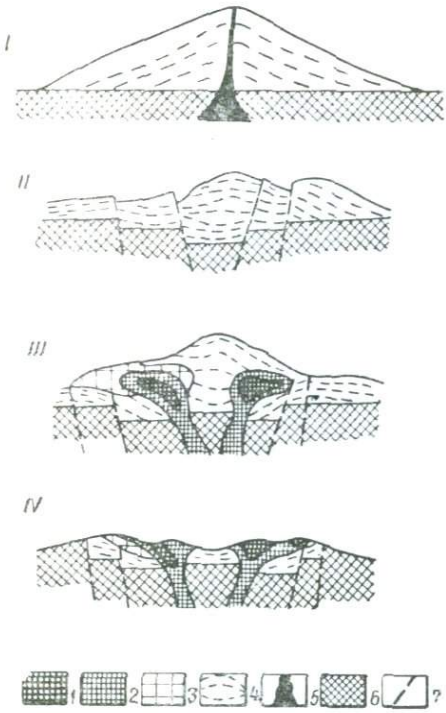


Рис. 3. Последовательность стадий формирования вулкано-тектонических структур.

I — первичный вулканический конус; *II* — образование кальдеры; *III* — формирование куполов; *IV* — современная обстановка. *1* — крупнопорфировые липариты внутренних частей экструзий; *2* — афировые липариты и игнимбриты внешних частей экструзий; *3* — кластолавы липаритов краевых частей экструзий; *4* — породы вулканического конуса; *5* — жерло вулкана; *6* — довулканический фундамент; *7* — разрывные нарушения.

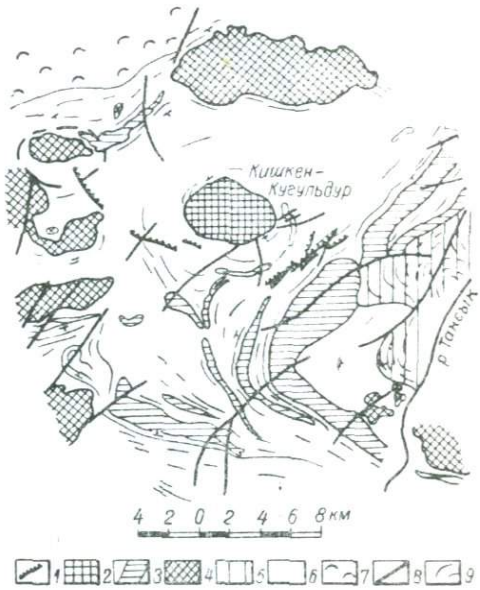


Рис. 4. Схема строения палеовулканической структуры Кишкен-Кугульдур.

Субвулканический комплекс (1—4): *1* — дайки трахитов и сиенит-порфиров; *2* — шток трахитов; *3* — силлы трахитов; *4* — лакколиты трахитов; *5* — покровые трахитов. Вмещающая толща *(6—7)*: *6* — базальты; *7* — туфы и туфолавы кислого состава; *8* — разрывные нарушения; *9* — прослеженные горизонты пород.

ральным частям вулканических аппаратов. Например, пермские интрузии округлой формы относятся к такому типу плутонов. Кроме того, в первую очередь выделяются кольцевые интрузии гранит-порфиров и граносиенит-порфиров, связанные с центральными гранитными штоками (рис. 5). На связь их со структурами вулканических аппаратов указывают следующие особенности: 1) кольцевые интрузии ограничивают брахисинклинали, сложенные вулканогенными породами, которые за их пределами имеют обратное падение или вообще отсутствуют; 2) во внутренней части структур наблюдаются антиклинальные перегибы пластов вулканогенных пород непосредственно над центральным интрузивным штоком; 3) в строении брахисинклиналей, сложенных вулканогенными образованиями, обычно участвуют две толщи: нижняя — преимущественно туфовая и верхняя — туфолавовая, причем верхняя толща распространяется повсеместно, а нижняя — только по периферии структуры; 4) в краевой части структуры наблюдаются реликты латеральных вулканов (некки), а также вытянутые субвулканические тела и дайки.

Перечисленные признаки указывают, что кольцевые интрузии формировались в посткальдерный период вулкана на месте периферической магматической камеры и в кольцевых трещинах надкамерного пространства. От радиально-концентрических структур вулканических аппаратов, подчеркиваемых дайками (вулкан Жантау, рис. 6), кольцевые брахисинклинальные структуры (Машанская, Байназарская, Майтас-

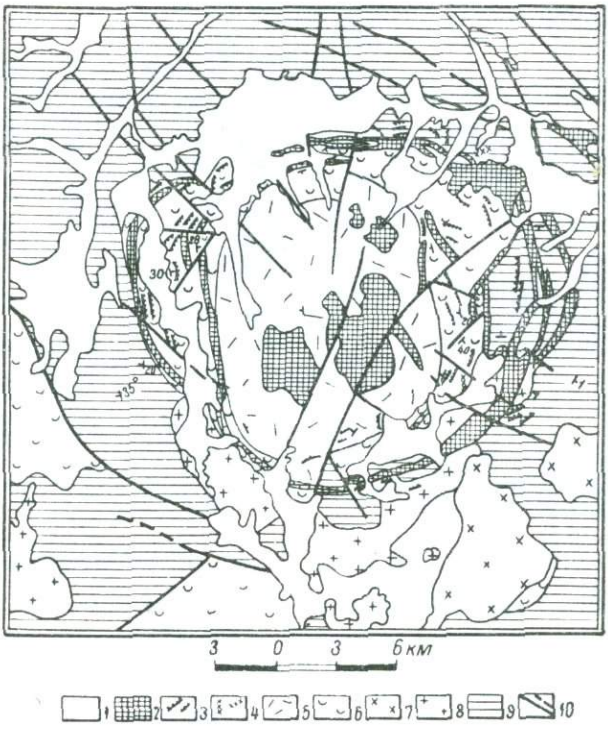


Рис. 5. Схема строения кольцевой палеовулканической структуры Машан (по Никитиной, 1959).

1 — рыхлые отложения; *2* — граносиенит-порфиры и гранит-порфиры (интрузии центральной части горы Машан и кольцевая дайка); *3* — дайки кварцевых порфиров, фельзит-порфиров, сферолитовых порфиров и др.; *4* — дайки диабазов и долеритовых порфиритов; *5* — липариты, фельзит-порфиры, ортофиры; *6* — андезиты и их туфы; *7* — гранодиориты; *8* — граниты; *9* — вулканогенные и осадочные породы фундамента вулканической постройки; *10* — разрывные нарушения.

ская, Улькен-Каракуусская и др.) отличаются лишь глубиной эрозионного среза и являются поэтому производными крупных вулканов центрального типа.

С интрузиями иногда связаны и брахиантиклинальные структуры. Нетрудно себе представить, что разрушенная вулканическая постройка может быть принята за тектоническую брахиантиклиналь. Вне зависимости от размеров реликты подобной постройки будут представлены периклинально падающими слоями вулканитов, проявляющимися в рельефе в виде дугообразно изогнутых куэстовых гряд. А. Баддингтон (1963) утверждает, что именно так, в виде крупных брахиантиклинальных складок, в ядрах которых обнажаются эти зональные плутоны гранитоидов, выступают в современном рельефе руины многих древних вулканов центрального типа. В Казахстане установлены реликты двух подобного рода вулканических построек на месте гранитных плутонов Каратал и Кызылтас (рис. 7).

Вулканы обычно сопровождаются кальдерами оседания и обрушения, которые распознаются благодаря повторению стратифицированных разрезов вулканогенных толщ периферических частей вулканической постройки во внешних относительно приподнятых ее блоках. С одним вулканом во многих случаях бывает связано несколько кальдер, границы которых соответственно отбиваются дугообразными разлома-

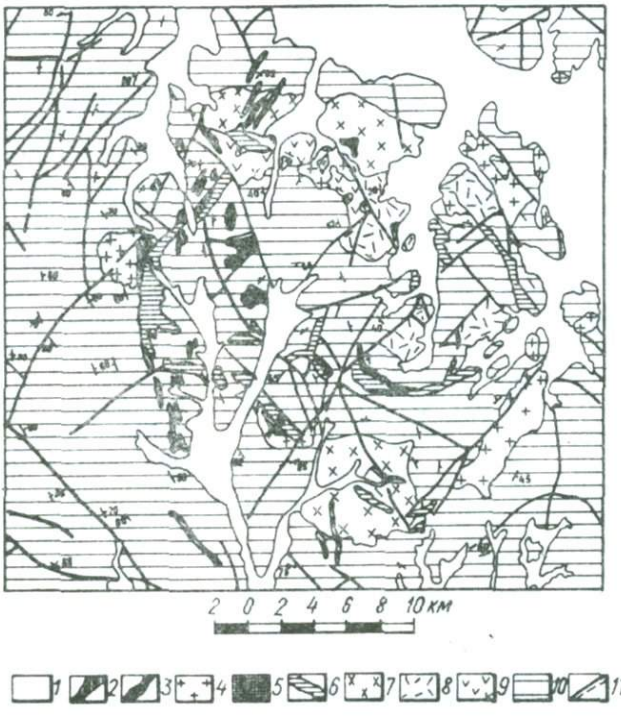


Рис. 6. Схема строения кольцевой структуры Байназар (по материалам Г. И. Бедрова, Ю. П. Некашева и др.).

1 — рыхлые отложения; *2* — дайки липаритов, гранит-порфиров, микрогранитов; *3* — дайки габбро-диабазов; *4* — граниты Акчатауского комплекса; *5* — экструзивные тела липаритов и липарито-дацитов; *6* — кольцевые дайкообразные тела субвулканических интрузий гранодиорит-порфиров, диоритовых порфиритов, трахидацитовых порфиров и др.; *7* — гранодиориты, кварцевые сиенито-диориты Топарского комплекса; *8* — игнимбриты и туфы липарито-дацитового состава; *9* — андезиты, андезито-дациты и их туфы; *10* — осадочные и вулканогенные породы фундамента вулканической постройки; *11*—разрывные нарушения.

ми. Такие кальдеры хорошо видны на современных вулканах, например Курило-Камчатской зоны. Установление повторений стратифицированных разрезов в реликтах палеовулканов (а здесь они устанавливаются четко) позволяет использовать этот признак при выделении кальдерных структур. В Актогайском районе у вулканов Кызылтас и Михневича (рис. 8) по такому признаку определены границы двух кальдер с амплитудой вертикальных смещений порядка нескольких сотен метров.

С кальдерами вулканов пространственно совпадают отчетливо выраженные зоны сближенных градиентов силы тяжести.

В пределах распространения вулканогенных пород часто наблюдаются хорошо выраженные в рельефе массивы вторичных кварцитов. Развиваясь в центральных и внешних частях вулканических аппаратов, вторичные кварциты нередко образуют характерные сочетания кольцевых замкнутых и полузамкнутых структур в результате интенсивной

гидротермальной переработки вулканогенных пород в зонах кальдерных разломов.

Среди кольцевых структур, с которыми наблюдается связь вторичных кварцитов, выделяются три типа: 1) кольцевые структуры с интенсивным проявлением процессов окварцевания вулканогенных пород во внутренней и внешней концентрических зонах кальдеры, в которых вторичные кварциты развиваются как по породам докальдерной стадии вулкана, так и по породам совершенно иного состава, образовавшимся при дополнительном внедрении магмы в кольцевые разломы, в связи с кальдерным провалом и отжимом из камеры остаточной магмы; 2) кольцевые структуры, в которых массивы вторичных кварцитов соединены в замкнутые и полузамкнутые кольца, внутренние части которых представляют собой опущенные блоки. По восстающей флюидальности, замыкающейся вокруг центра каждого массива, можно предполагать о наличии здесь группы эродированных вулканических аппаратов, расположенных вдоль кольцевого разлома, образовавшегося еще до излияния магмы; 3) полукольцевые и дугообразные структуры, в которых вторичные кварциты сформировались по горизонтам пористых вулканогенных пород, выполняющих брахисинклинальные складки.

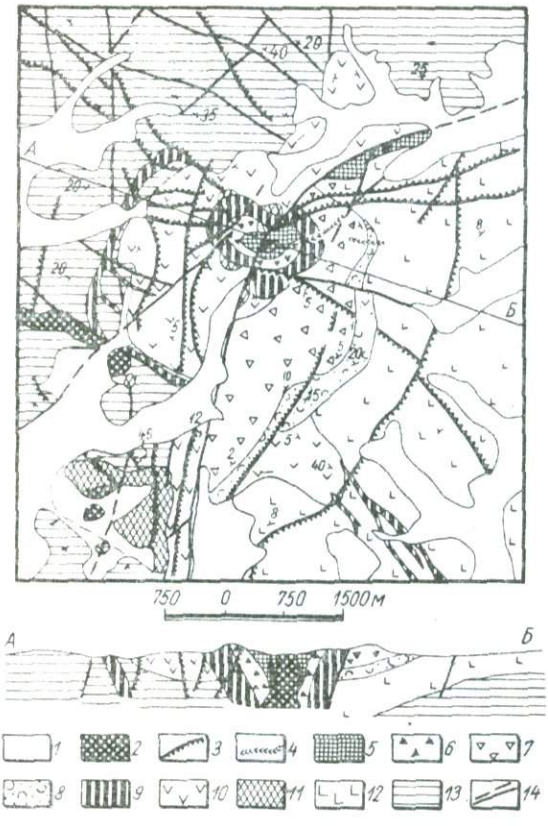


Рис 7. Схема строения палеовулкана Жантау.

1 — рыхлые отложения; 3-я фаза деятельности вулкана: 2 — мелкие тела сиенит-порфиров, 3 — радиальные и кольцевые дайки сиенит-порфиров; 4-я фаза: 4 — дайки трахилипаритов, 5 — экструзии трахилипаритов; 3-я фаза: 6 — агломератовые лавобрекчии трахилипаритов жерловой фации, 7 — агломератовые туфолавы трахилипаритов покровной фации, 8 — тонкослоистые туффиты и туфы; 2-я фаза: 9 — трахилипариты центрального некка, кольцевой интрузии и радиальных даек, 10 — лавы и туфолавы трахидацитов и трахилипаритов покровной фации; 1-я фаза: 11 — некки и реликты некков андезитов и андезито-базальтов, 12 — базальты, андезито-базальты и андезиты покровной фации; 13 — породы фундамента вулкана; 14 — разрывные нарушения.

В качестве примера возможного существования крупных вулканических кальдер с кольцевым расположением вторичных кварцитов можно указать на Каргалинскую дугу в верховье р. Джамши (выделенную Н. И. Наковником), Актогайскую и Каршигалинскую структуры (предварительно намеченные еще М. В. Тащининой) и меньших размеров — Жалпаккаинскую, Коссоранскую и Лунную кальдеры, установленные А. Я. Виньковецким и подтвержденные нами в Актогайском районе. Подобные структуры наблюдались нами к северу от гранитного массива Коктас, в г. Джаур и на Сарголь — Акмаинском участке.

Существенно, что определенная закономерность наблюдается в распределении минеральных фаций вторичных кварцитов. Так, массивы с андалузитовой, реже андалузит-корундовой, минеральными фациями

развиваются в непосредственной близости от жерла вулкана, а массивы с широко проявленной алунитовой минерализацией находятся на значительном удалении от него. Это свидетельствует о различном уровне эрозионного среза периферической и центральной частей вулканических построек. Району наиболее глубокого эрозионного среза вулканов и их фундаменту, т. е. зонам развития гипабиссальных интрузий, отвечают глубинные минеральные фации вторичных кварцитов, а участкам меньшей денудации, т. е. значительно удаленным от подводящего канала вулкана,— массивы с приповерхностными минеральными ассоциациями. Эта закономерность позволяет оценить глубину эрозионного среза вулканического аппарата. По Д. С. Коржинскому, корунд-андалузитовая фация вторичных кварцитов формируется на глубинах не менее 1,5 *км*.

Таким образом, изложенный материал показывает, что мы имеем дело с руинами крупных палеовулканов. Реконструкция этих вулканов на основе всех имеющихся признаков показана на блок-диаграмме (рис. 9, *Б*). Для сравнения представлена и современная геологическая обстановка этого района (рис. 9, *А*).

Многие срезы древних вулканов имеют сложное строение из-за многократно повторяющейся вулканической деятельности. Изучение внутреннего строения реликтов жерловых выполнений позволяет установить последовательность отдельных фаз деятельности вулкана, уточнить стратиграфию покровного комплекса и определить принадлежность тех или иных вулканогенных толщ к определенным вулканическим центрам. При этом нередко устанавливается наложение одного вул-

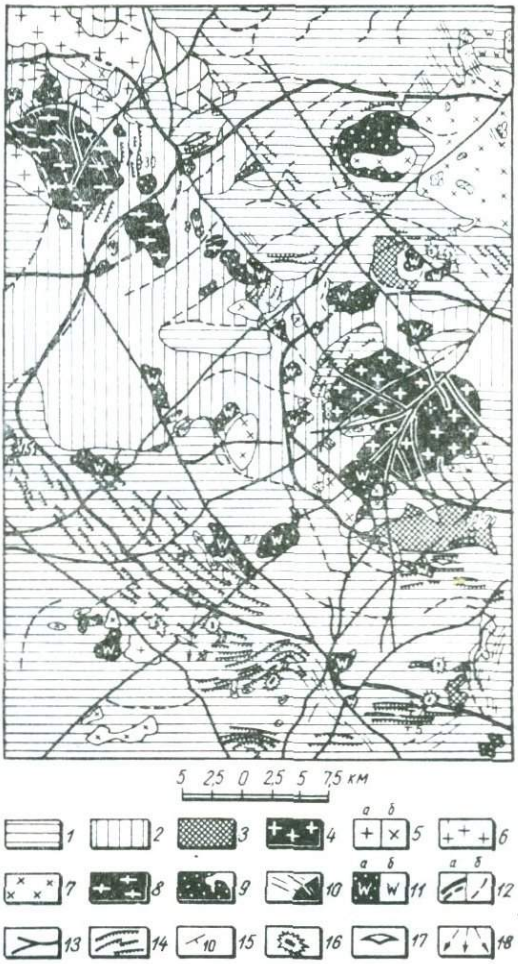


Рис. 8. Схема строения Актогайской палеовулканической структуры (по Зейлику, 1969).

1 — вулканогенные породы порфировой формации верхнего палеозоя; *2* — вулканогенно-молассовая формация нижнего карбона (каркаралинская свита); *3* — отложения флишоидной и молассовой формаций девона — нижнего карбона; *4* — пермские аляскитовые граниты (массив Кызылтас); *5* — верхнекаменноугольные: *а* — лейкократовые граниты, *б* — гранодиориты и гранодиорит-порфиры; *6* — средне-верхнекаменноугольные граниты, гранит-порфиры; *7* — среднекаменноугольные гранитоиды: сиенито-диориты, граносиениты, кварцевые диориты, гранодиориты и диорит-порфириты; *8* — нижнекаменноугольные биотитовые граниты (массив Каратал); *9* — некки и субвулканические интрузии: липарито-дациты, андезито-дациты, андезиты, трахиандезиты; *10* — дайки различного состава; *11* — вторичные кварциты: *а* — по жерловым и субвулканическим телам, *б* — по стратифицированным вулканогенным образованиям и гранитоидам; *12* — *а* — границы кальдер, *б* — предполагаемые кальдеры и дугообразные разломы; *13* — разрывные нарушения; *14* — гребни и крутые склоны куэст на покровах и потоках вулканитов; *15* — элементы залегания покровов и потоков; *16* — розы-диаграммы ориентировки фенокристаллов и фьямме в лавах и игнимбритах; *17* — направление выклинивания отдельных лавовых и игнимбритовых потоков, их серий и пачек пирокластов; *18* — направление уменьшения размеров обломочного материала вулканитов.

канического сооружения на другое, имеющее более древний возраст. Так, например, в Актогайском районе было выявлено, что вулканогенные толщи вулкана Михневича являются в то же время складчатым

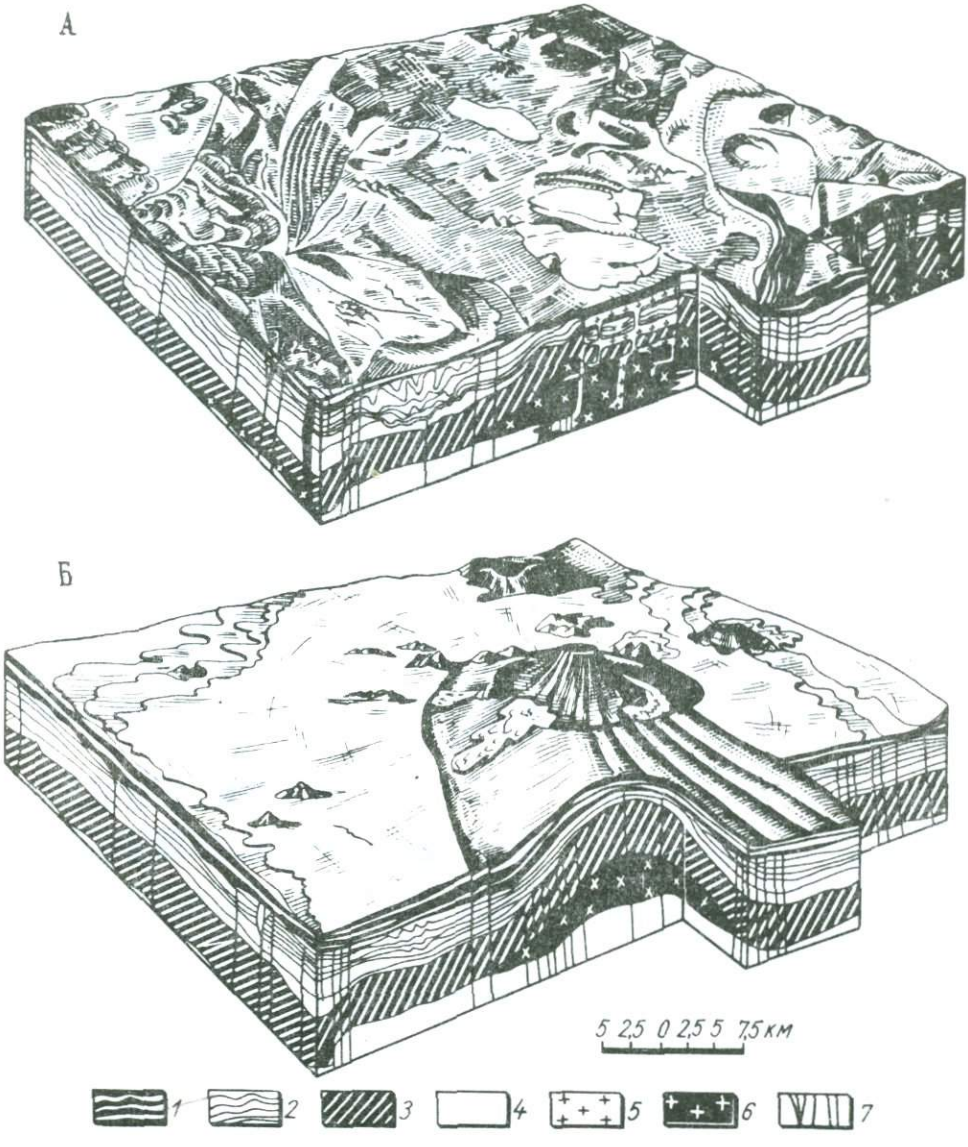


Рис. 9. Перспективные блок-диаграммы Актогайского района (по Зейлику, 1969).

А — современная обстановка; *Б* — реконструкция вулканических сооружений. *1* — вулканогенные породы порфировой формации; *2* — вулканогенно-молассовая формация; *3* — отложения флишоидной и молассовой формаций; *4* — кристаллический фундамент; *5* — пермские аляскитовые граниты; *6* — средне-верхнекаменноугольные граниты; *7* — разрывные нарушения.

основанием для более крупного щитовидного сооружения — вулкана Кызылтас.

На представленной схеме (см. рис. 7) показан пример палеовулкана со сложным строением жерла и соответственной стратификацией эффузивно-пирокластических образований (вулканы Жантау). В магнитном поле эти жерла часто выражаются локальными отрицательными аномалиями.

Палеовулканические реконструкции производятся на заключительных этапах полевых и камеральных работ. Они представляют важнейшую задачу при выявлении закономерностей развития магматизма, взаимосвязи вулканизма и тектоники и локализации полезных ископаемых, формировавшихся с участием вулканических процессов. В размещении данных месторождений решающую роль играют жерловые, субвулканические и комагматичные с ними интрузивные образования. Их пространственное распределение, в свою очередь, предопределяется совокупностью региональных складчатых и локальных вулканических структур.

В связи с этим успешное решение задач, связанных с палеовулканическими реконструкциями, открывает большие перспективы для правильного направления поисков новых промышленных месторождений полезных ископаемых в областях развития вулканогенных образований.

УДК (550.8+550.83) : 552.321.1

А. А. Духовский, В. Ф. Николаев, Н. Г. Бузкова,
М. Н. Молоткова, М. Б. Рыбаков

МЕТОДЫ ОБЪЕМНОГО ИЗУЧЕНИЯ ГРАНИТНЫХ ИНТРУЗИВОВ

В настоящее время при проведении геологических исследований основное внимание уделяется изучению геологических тел на поверхности Земли. Однако совершенно ясно, что современная крупномасштабная геологическая съемка не может ограничиться этим и для прогнозирования и поисков скрытых на глубине месторождений полезных ископаемых требуется изучение геологических тел в пространстве, в трех измерениях. Например, расчленение интрузивов акчатауского комплекса в Центральном Казахстане на рудные и безрудные только на основании исследования их состава и строения на поверхности не приводило к однозначным ответам. Однако в результате изучения морфологии верхних частей интрузивных тел удалось выяснить (Духовский, Никольская, Рождественский, 1968), что рудоносными являются те интрузивы, кровля которых не полностью вскрыта эрозионным срезом и прослеживается под вмещающими породами на значительные расстояния. К безрудным относятся такие интрузии, которые не имеют значительных по площади участков кровли под вмещающими породами.

Этот пример, как и многие другие, доказывает актуальность и большую практическую значимость объемного изучения гранитных интрузий, под которым понимается комплекс работ по определению их формы и внутреннего строения. Эти исследования, сопровождающие геологическую съемку, целесообразно проводить в пределах известных рудных узлов для выявления участков и площадей, перспективных на обнаружение слепых рудных месторождений. Такое понимание задач геологической съемки требует разработки специальных методов исследования гранитных интрузий, краткой характеристике которых посвящена настоящая работа.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ ИНТРУЗИВОВ

При выяснении формы интрузивов с некоторой долей условности можно различать методы изучения морфологии кровли и методы определения формы глубоких частей интрузивных тел.

Изучение кровли массивов заключается в реконструкции первичной контактовой поверхности частично эродированных массивов и определении морфологии кровли этих и слепых массивов под вмещающими породами. Доказательством того, что мы действительно имеем дело с апикальной частью слабо эродированного интрузива, а не с глубоким срезом, могут служить: *пологое падение контактовой поверхности* в сторону вмещающих пород; куполообразные выступы интрузивных образований среди пород рамы; наличие останцов и скоплений ксенолитов вмещающих пород, располагающихся в разных частях массива, и гибридных пород; присутствие пегматитовых полей; хорошо выраженная матрацевидная отдельность в породах главной интрузивной фазы; широкие зоны контактово-измененных пород; смещение местоположений контуров гравитационных и магнитных аномалий относительно границ интрузива на поверхности в сторону вмещающих пород.

Многие из этих признаков можно положить в основу приближенных методов установления величины эрозионного среза, знание которой позволяет составить самое общее представление о морфологии некогда существовавшей поверхности кровли.

Приближенные методы определения величины эрозионного среза включают в себя также изучение закономерностей распределения пород разных фаз, в частности жильной фазы, текстуры, структуры и минерального состава гранитов, их петрохимических и геохимических особенностей, радиоактивности и остаточной намагниченности. В результате обработки этих данных могут быть построены геохимические карты, профили и графики, карты трендов породообразующих и акцес-

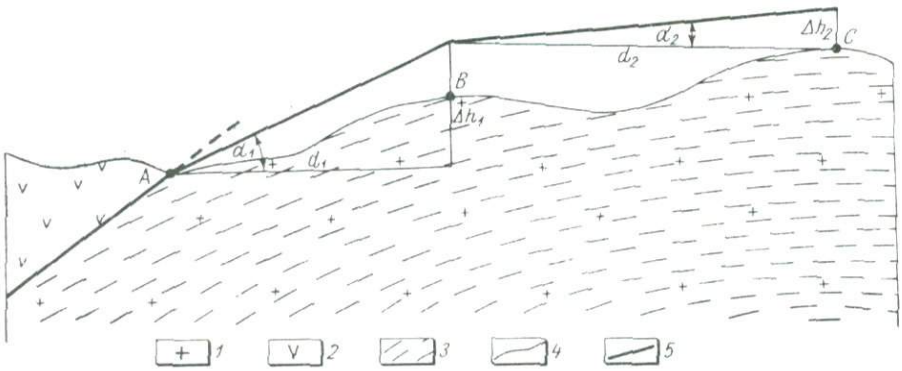


Рис. 1. Схема реставрации поверхности кровли интрузива.

A, B, C — точки замеров элементов залегания контакта или трещин пластовой отдельности; d_1, d_2 — расстояния между исходными точками; α_1, α_2 — углы наклона поверхности кровли; Δh_1, Δh_2 — превышения высотных отметок кровли между исходными точками. *1* — гранит; *2* — вмещающие породы; *3* — трещины пластовой отдельности; *4* — линия рельефа местности; *5* — линия контакта.

сорных минералов, отражающие структуру и морфологию массива. Полезными могут оказаться и геоморфологические наблюдения в пределах интрузивов, так как современный рельеф зачастую наследует палеорельеф кровли массива.

Для более точной реконструкции первичной контактовой поверхности используются прямые измерения элементов залегания контакта и ориентировки трещин пластовой отдельности. При определении параметров контактов в случае расчлененного рельефа более предпочтительными следует считать замеры элементов залегания по аэроснимкам инструментальным путем, нежели непосредственно в поле с помощью компаса, так как по аэроснимкам получается усредненное значение угла наклона и азимута простирания для значительного участка контактовой поверхности.

Зная элементы залегания контактов, можно путем изучения пологопадающих трещин пластовой отдельности перейти к реконструкции эродированной части кровли, так как, по мнению А. Н. Елисеева (1953), плоскость пластовой отдельности в апикальной части массива близко совпадает с контактовой поверхностью. При отсутствии постинтрузивных тектонических нарушений, имея многочисленные замеры элементов залегания контактовой поверхности и плоскостей отдельности, можно вычислить высотные отметки бывшей кровли и по ним построить схему изогипс реставрированной поверхности кровли массива.

Для определения высотных отметок бывшей кровли за исходную отметку принимается абсолютная высота точки контакта интрузива, так как здесь высотные отметки местности и кровли массива совпадают (рис. 1). Далее эта отметка передается на ближайшую точку, в кото-

рой замерены элементы залегания пластовой отдельности. Для этого строят прямоугольный треугольник, основание которого соответствует расстоянию между этими точками, а угол между основанием и гипотенузой — половине суммы видимых углов падения контакта и плоскости пластовой отдельности. Второй катет построенного треугольника будет равен искомому превышению высотных отметок исходных точек. Точка, для которой таким способом определена высотная отметка бывшей кровли, явится исходной для следующей ближайшей точки, где произведен замер элементов залегания пластовой отдельности. Изложенная методика восстановления размытой кровли плутонов была использована Г. Д. Аэровым и др. (1966) при изучении Бектауатинского гранитного массива в Центральном Казахстане.

Помимо трещин пластовой отдельности, для реставрации кровли используются данные об ориентировке слоев и линий течения, однако в гранитах эти элементы прототектоники выражены слабо. В. К. Моничем (1959) высказаны некоторые соображения о значении слабоориентированных текстур изверженных пород для структурного анализа магматических тел. Однако основное внимание в своих работах (Монич, 1956, 1957) он уделил крутопадающим трещинам отдельности, полагая, что по продольным и поперечным трещинам можно судить о пространственной ориентировке массива, а по диагональным трещинам, с помощью метода Е. Н. Пермякова (1951), — вычислить приблизительную величину эрозионного среза (в точке максимального проявления эрозии).

Для определения морфологии кровли массивов под вмещающими породами используются три метода: бурение, изучение продуктов контактово-термального метаморфизма, образующих сплошные ореолы вокруг интрузивов, и геофизические исследования.

Вещественный состав пород контактового ореола и степень их изменения находятся в прямой зависимости от расстояния до интрузивного тела. Выявив по нескольким скважинам метаморфическую зональность надынтрузивных зон по вертикали и увязав ее с расстоянием до кровли интрузива, можно по результатам площадных исследований контактово-термального метаморфизма оценить глубину залегания невскрытой части интрузива. Наиболее точным методом изучения метаморфической зональности в плане следует считать построение карт метаморфизма путем выделения изоград и фаций метаморфизма. Детализация таких карт может быть проведена за счет использования данных о содержании и степени сохранности реликтовых минералов, по кристаллооптическим свойствам минералов переменного состава и особенностям распределения некоторых химических элементов в породах и минералах.

При оценке глубины залегания гранитов следует учитывать возможное влияние структурного контроля процессов метаморфизма. Вариации мощности отдельных метаморфических зон обычно отмечаются в участках повышенной трещиноватости, в местах резкого изменения элементов залегания вмещающих пород, в надкупольных частях массива и т. д.

Предварительные результаты наших работ показывают, что при изучении интенсивности контактового метаморфизма большую помощь могут оказать петрофизические исследования. На рис. 2 приводятся графики изменения магнитной восприимчивости пород надынтрузивной зоны Коктенкульского массива в зависимости от удаления по вертикали от контакта гранитов. Использование аналогичных графиков в сходных геологических условиях позволит оценить на основании площадных петрофизических исследований глубины залегания кровли массива под вмещающими породами.

Для получения дополнительных данных, свидетельствующих о наличии гранитов под вмещающими породами, А. В. Авдеев (1968) предлагает проводить систематическое изучение глубинных ксенолитов в крупных субвулканических телах, протяженных дайках среднего и основного состава, экструзиях и в туфовых выбросах молодых вулканов, расположенных в районе изучаемого интрузива. Так, им было зафиксировано вертикальное падение северо-восточного контакта массива Ортау (рис. 3). Восточнее в дайках диоритовых порфиритов, рассекающих девонские эффузивы, обнаружены ксенолиты ортауских гранитов. Это навело на мысль о том, что на глубине поверхность контакта отклоняется от вертикали, и граниты полого погружаются под вмещающие породы. Такое представление о поведении контактовой поверхности хорошо увязывается с широкими зонами роговиков и положением контуров гравитационной и магнитной аномалий.

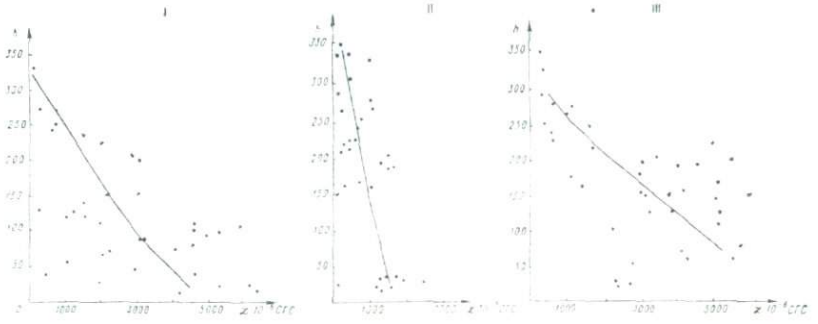


Рис. 2. Графики изменения магнитной восприимчивости пород надынтрузивной зоны Коктенкульского массива (по вертикали).
I — порфириты; *II* — липариты; *III* — осадочные породы; *h* — расстояние от контакта гранитов, в *м*.

Особенности применения геофизических исследований для изучения морфологии кровли интрузивов под вмещающими породами зависят от целого ряда факторов: характера и интенсивности контактовых изменений пород, обусловливающих степень дифференциации физических свойств пород на границе интрузив — вмещающая среда; глубины залегания кровли интрузива и ее формы. Для практических целей интересны неглубоко залегающие интрузивы.

Для решения поставленной задачи наибольшими теоретическими возможностями обладают сейсморазведка и электроразведка. Однако опыт подобных работ мал, а их методика еще практически не создана, так как малые глубины залегания интрузивов и резкая дифференциация физических свойств пород надынтрузивных зон создают значительные трудности в применении электроразведки и, особенно, сейсморазведки. Однако в ряде случаев, когда интрузивы прорывают осадочные толщи, а породы надынтрузивной зоны обладают однородными электрическими сопротивлениями, резко отличающимися по величине от электрических сопротивлений гранитов, с помощью ВЭЗ удается определить морфологию кровли гранитов под вмещающими породами (Аристов и др., 1960).

Наиболее широко для изучения морфологии кровли интрузивов под вмещающими породами применяются гравиразведка и магниторазведка. При использовании магниторазведки необходимо иметь в виду, что наблюдаемые над слепыми интрузивами магнитные аномалии часто являются суммарными, вызванными как самим интрузивом, так и контактово-измененными породами. Если магнитные контактово-измененные породы установлены на поверхности, то в этом случае источником

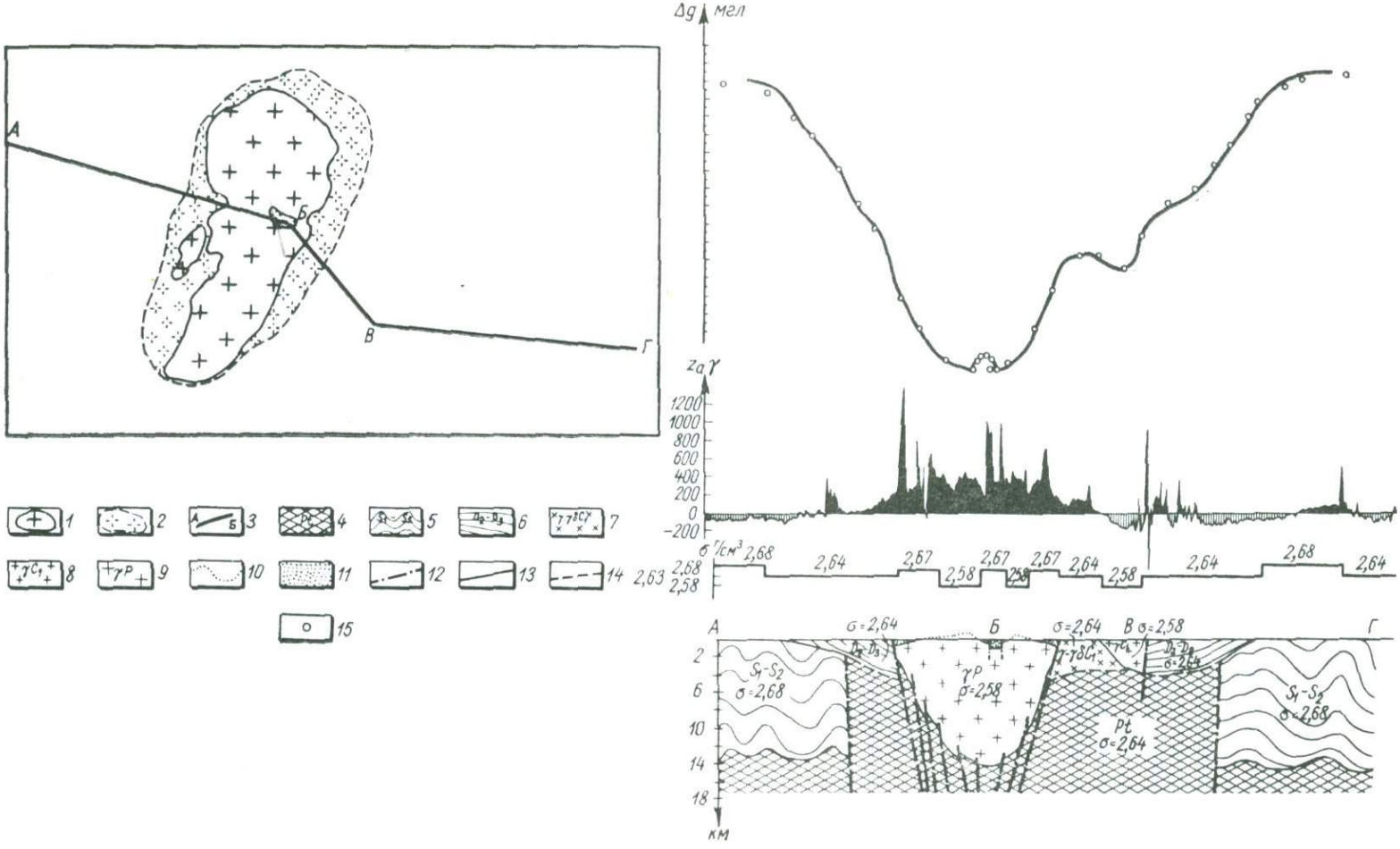

Δg мгл
А
Б
В
Г
za γ
1200
1000
800
600
400
200
0
-200
σ г/см³
2,68
2,64
2,67
2,58
2,63
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
σ=2,64
σ=2,64
σ=2,58
σ=2,68
σ=2,58
σ=2,64
σ=2,68
Pt
σ=2,64
2
6
10
14
18
км

Рис. 3. Схема морфологии кровли массива Ортау и форма его сечения, определенная по гравитационным и магнитным данным (по Духовскому и Ненашеву).

1 — контур массива на земной поверхности; *2* — контур кровли массива под вмещающими породами (по геофизическим данным); *3* — линия разреза; *4* — метаморфический комплекс верхнего протерозоя: порфироиды, гнейсы, гранито-гнейсы, кварциты, яшмоиды, сланцы (плотность 2,64 *г/см*³); *5* — зеленокаменные толщи нижнего и верхнего силура: песчаники, конгломераты, сланцы, *диабазы, перфириты, яшмы* (плотность 2,68 *г/см*³); *6* — вулканогенно-осадочные породы среднего девона — нижнего карбона: липариты, андезиты, дациты, песчаники, сланцы, туффиты, известняки (плотность 2,64 *г/см*³). Космурунский гранитоидный массив предположительно нижнекарбонового возраста: *7* — гранодиориты и меланократовые граниты (плотность 2,64 *г/см*³); *8* — лейкократовые граниты (плотность 2,58 *г/см*³); *9* — Ортаусский массив пермского возраста (*акчатауский комплекс*): *лейкократовые и аляскитовые граниты* (плотность 2,58 *г/см*³); *10* — реставрированная поверхность кровли массива Ортау; *11* — зоны эрозионнокоанных пород; *12* — тектонические нарушения; *13* — границы, проведенные по геофизическим и геологическим данным; *14* — предполагаемые границы, проведенные по геологическим и геофизическим данным; *15* — значения Δg, полученные в результате подбора

магнитной аномалии является выходящее на поверхность единое намагниченное тело. Глубина залегания кровли интрузива в таких случаях может быть определена только по гравитационным данным, а по характеру магнитных полей можно выявить участки гидротермально- или контактово-измененных пород, которые обычно соответствуют выступам кровли массива.

Если контактово-измененные породы надынтрузивной зоны являются немагнитными или находятся ниже современной поверхности эрозионного среза, то по магнитным аномалиям с помощью общеизвестных методов можно определить глубины залегания соответственно верхних краевых точек интрузива или глубину залегания верхней границы магнитных контактово-измененных пород.

Более однозначные результаты при изучении морфологии кровли интрузивов под вмещающими породами могут быть получены по гравитационным данным, так как процессы изменения пород, происходившие в надынтрузивной зоне, не способны затушевать обычно существующее плотностное различие между гранитами и вмещающими их породами.

Однако и при использовании гравиразведки мы сталкиваемся с большими трудностями, так как гравитационные аномалии над залегающими на глубине телами обусловлены суммарным влиянием верхних и нижних граней, разделить которое не всегда возможно. Необходимо также учитывать, что большинство существующих в настоящее время методов расчета глубин залегания тел основано на предположении, что их верхняя грань горизонтальна. На самом деле она несомненно имеет более сложную форму. Предлагаемые некоторыми авторами приемы интерпретации для тел с неровной верхней гранью, например куполообразной, трудно осуществимы на практике, так как в общих случаях по виду или характеру геофизической аномалии невозможно установить, каким телом — плоским или выпуклым, она вызвана.

Задача изучения морфологии кровли слепых интрузивов значительно упрощается, если кровля неровная и образует крупные по размерам выступы или впадины, создающие на общем аномальном фоне, вызванном самим интрузивом, четкие локальные аномалии силы тяжести. Вычисляя по ним элементы залегания неровностей кровли, мы таким образом получим дополнительные данные о морфологии кровли всего массива.

Для изучения глубоких частей интрузивных тел используются геофизические методы, среди которых ведущая роль принадлежит гравиразведке и магниторазведке. Сейсморазведка из-за отсутствия разработанной методики ее применения и высокой стоимости работ еще не заняла ведущего места. Можно привести лишь единичные примеры удачного использования сейсморазведки для определения формы интрузивов (Троянский, 1957).

Разрешающая способность гравитационных и магнитных методов при определении формы тел зависит от соотношения поперечных размеров тела с вертикальными. Достаточно надежное решение этой задачи получается лишь в тех случаях, когда вертикальные размеры тел меньше их поперечных размеров или соизмеримы с ними. Таким требованиям будут удовлетворять крупные в плане интрузивные массивы, для которых мало вероятно, что они уходят на бесконечную, по сравнению с их горизонтальными размерами, глубину. Для малых интрузий можно оценить некоторые параметры (например, угол падения), но трудно получить надежное представление о форме тела в целом.

Для решения поставленной задачи все многообразие форм интрузивных тел необходимо свести к одной идеализированной геометрической модели. Параметры этой модели являются переменными величинами, в зависимости от их значений из рассмотренной модели можно получить геометрические тела, которые в первом приближении могут быть уподоблены реальным формам интрузивных тел.

В идеализированной модели не учитываются возможные подводящие каналы, а подошва тела взята плоской. Такое допущение объясняется тем, что наличие значительных по размерам подводящих каналов или изменение глубины залегания подошвы интрузива создадут локальные геофизические аномалии, проявляющиеся на фоне более крупной аномалии, обусловленной самим интрузивом. Эти локальные аномалии можно рассматривать как самостоятельные, вызванные глубоко залегающими телами, и интерпретировать их соответствующим образом.

При использовании геофизических данных для определения формы интрузивных тел мы вынуждены также 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 неизменяющимися 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. 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 пород.

Процесс интерпретации гравитационных и магнитных данных с целью определения формы глубоких частей интрузивов состоит из трех последовательных этапов исследований, которым предшествует подготовка материала для интерпретации, заключающаяся в введении различных поправок, сглаживании кривых и исключении регионального фона. На первом этапе интерпретации на основании всех имеющихся геологических и петрофизических данных и анализа характера гравитационных и магнитных аномалий необходимо получить качественное представление о форме сечения рассматриваемого тела. На втором этапе с помощью различных методов количественной интерпретации гравитационных и магнитных аномалий оцениваются возможные параметры сечения тел: углы наклона контактовых поверхностей, глубины залегания верхних и нижних границ, центр тяжести, избыточная плотность и намагниченность. Используемые для этого методы интерпретации выбираются в зависимости от уровня среза кровли интрузива и ее морфологии.

На основании вычисленных значений параметров тела методом подбора устанавливается контур его вертикального сечения, что является задачей третьего этапа интерпретации. Большое значение на этом этапе интерпретации приобретает использование электронно-вычислительных машин, которые позволяют опробовать различные варианты и выбирать из них наиболее достоверные. Программы для подбора контура сечения аномалеобразующего тела на ЭВМ разработаны в Ленинградском горном институте (С. В. Шалаев и Г. Г. Кравцов), ВИРГе (В. В. Ломтадзе), Казфилиале ВИРГа (Ю. И. Кузьмин), Институте геофизики АН УССР (Е. Г. Булах) и других организациях.

В качестве примера определения формы глубоких частей интрузивных тел рассмотрим массив Ортау в Центральном Казахстане (см. рис. 3). В плане он имеет вытянутую форму и сложен лейкократовыми и аляскитовыми гранитами акчатауского комплекса. Интрузив 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*. Это, а также имеющиеся геологические данные свидетельствуют о том, что куполообразная кровля тела не полностью срезана эрозией. Максимальная величина эрозионного среза массива (по отношению к его кровле) оценивается в 500—600 *м*.

Ориентировочная оценка параметров сечения массива выполнена с помощью палеток и номограмм для интерпретации гравитационных и магнитных аномалий (Духовский, 1966, 1967, 1968). В результате установлено, что углы наклона кровли очень пологие, порядка 10—15°. Аналогичные цифры получены путем определения углов падения контактов по аэрофотоснимкам. Боковые грани круто наклонены под массив. Вертикальные размеры интрузивного тела, вычисленные различными методами, равны 12—14 *км*. Тектонические нарушения, смещающие глубинные контакты интрузива, показаны предположительно, для объяснения механизма его формирования. Непосредственно по геофизическим данным они не выявляются.

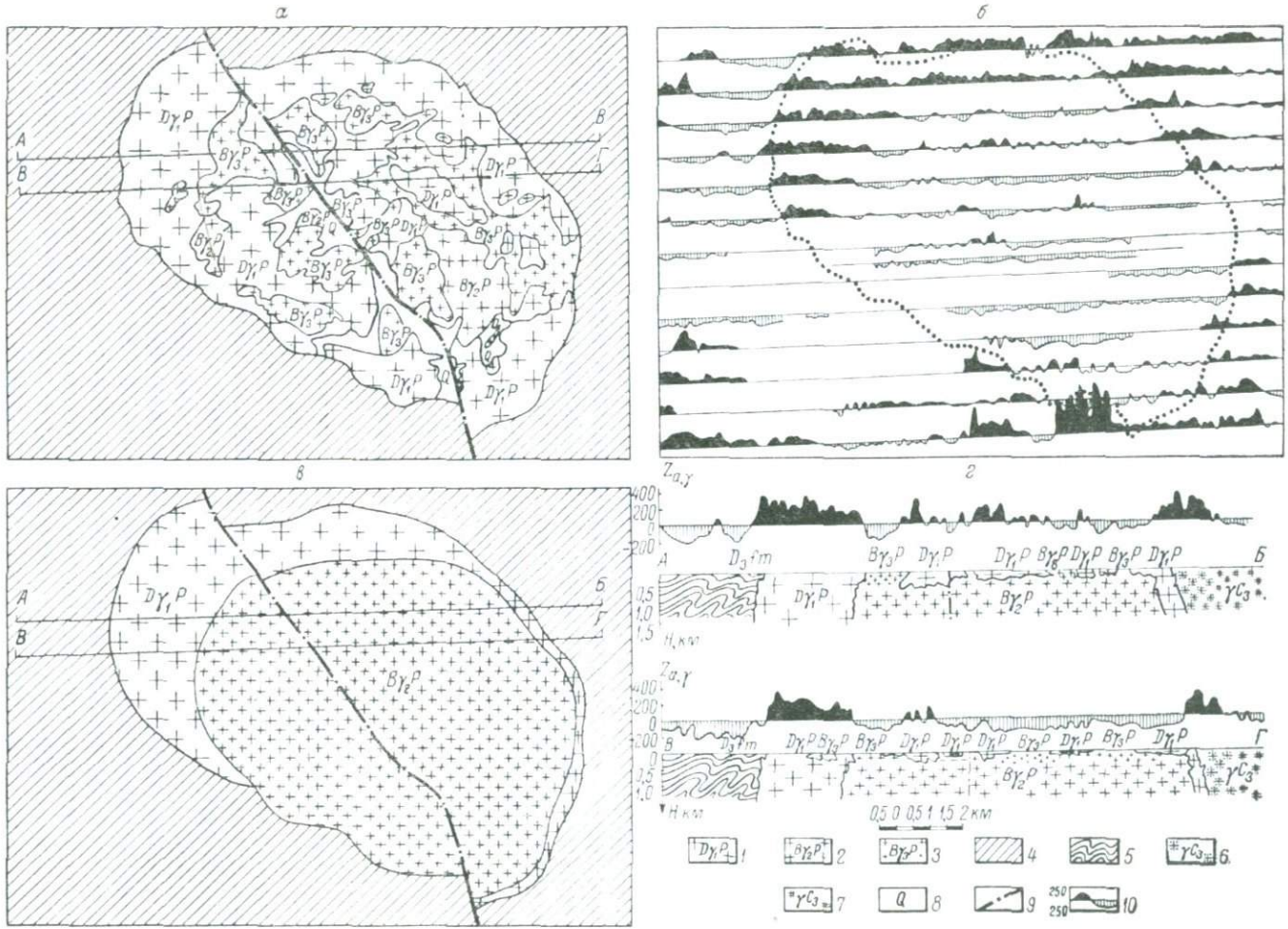
Аналогичные исследования по ряду профилей позволяют построить структурную карту глубин залегания контактовой поверхности интрузива или его объемную геологическую схему.

ИЗУЧЕНИЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ

Под изучением внутреннего строения интрузивов понимается: расчленение интрузива одного комплекса на породы разных фаз и фаций; выяснение преобладающего развития и пространственного распределения в теле интрузива определенных разновидностей пород; определение формы тел, сложенных разными породами.

Расчленение интрузивов на породы разных фаз и фаций проводится общеизвестными геологическими и геофизическими методами. Следует лишь обратить внимание на необходимость большого числа замеров элементов залегания контактов между породами разных фаз для того, чтобы составить представление о форме тел, сложенных этими породами. На аэрофотоснимках линия контакта прослеживается далеко не всегда, поэтому при полевых работах, помимо непосредственных замеров элементов залегания компасом, необходимо на контактные снимки наносить точки пластовых треугольников с тем, чтобы впоследствии определить положение контактовой поверхности инструментальным путем.

Большое значение при изучении внутреннего строения интрузий придается выяснению преобладающего развития и пространственного


а
б
в
г
А
Б
В
Г
Dγ1P
Bγ3P
Bγ2P
Za,γ
D3fm
γC3
H,км
0,5 0 0,5 1 1,5 2 км
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

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 тела и сопоставлении их с измеренными значениями. Например, для массива Ортау установлено, что основная часть его сложена гранитами главной фазы, которые обладают высокими магнитными свойствами и создают наблюдаемую над этим массивом положительную аномалию магнитного поля. Широко развитые на поверхности слабо магнитные граниты фазы дополнительных интрузий приурочены к апикальной части массива и образуют маломощные пластовые тела.

Для выяснения морфологии тел, сложенных различными породами, применяются методы, аналогичные методам изучения формы интрузивов. В качестве примера рассмотрим Восточно-Коунрадский массив в Центральном Казахстане (рис. 4). Для массива установлено, что средняя напряженность магнитного поля над гранитами главной фазы различна в разных его частях. Поскольку магнитные свойства этих гранитов постоянны, а мощность массива выдержана по всей его площади и равна в среднем 5 *км*, такое распределение напряженности магнитного поля можно объяснить изменением вертикальных размеров гранитов главной фазы. В центральной и южной частях массива тела гранитов главной фазы имеют небольшие вертикальные размеры, колеблющиеся от первых метров до 500—600 *м*. Под ними расположены прорывающие их слабомагнитные граниты фазы дополнительных интрузий, которыми сложена здесь основная часть массива на всю его глубину. В краевой части массива граниты главной фазы образуют дугообразное в плане, крутонаклоненное тело, вертикальные размеры которого равны 1,5—2 *км*. Такое представление о внутреннем строении Восточно-Коунрадского массива, полученное по геофизическим данным, подтверждается буровыми работами.

Результаты объемного изучения интрузивов представляются в виде карт-срезов на различных уровнях от земной поверхности, разрезов, блок-диаграмм и карт изолиний глубин залегания контактовой поверхности тел.

Изложенные в работе соображения о применимости тех или иных методов, которые, по нашему мнению, помогут решить задачу объемного изучения гранитных тел, являются предварительными. Они должны быть опробованы на многих объектах, что является целью опытно-методических исследований, проводимых в настоящее время отделом методики ВСЕГЕИ.

Рис. 4. Внутреннее строение Восточно-Коунрадского гранитного массива по геофизическим данным.

а — *петромагнитная карта* (геологическая основа по Ефремовой); *б* — карта графиков *Za* (по Кокбасову), точками показана граница массива; *в* — схема геологического строения массива на уровне 750 *м* ниже земной поверхности; *г* — схематические геологические разрезы; *1* — крупнозернистые лейкократовые биотитовые граниты главной интрузивной фазы, магнитная восприимчивость 900—2500 · 10⁻⁶ СГС, среднее 1700 · 10⁻⁶ СГС; *2* — среднезернистые лейкократовые граниты фазы дополнительных интрузий, магнитная восприимчивость 100—700 · 10⁻⁶ СГС, среднее 370 · 10⁻⁶ СГС; *3* — мелкозернистые лейкократовые граниты фазы жильных пород, магнитная восприимчивость *100—700 · 10⁻⁶ СГС, среднее 340 · 10⁻⁶ СГС*; *4* — вмещающие породы: *5* — песчаники, сланцы, алевролиты с прослоями порфиритов позднедевонского возраста; *6* — гранофиры и мелкозернистые гранофировые граниты позднекаменноугольного возраста; *7* — среднезернистые гранофировые граниты позднекаменноугольного возраста; *8* — рыхлые четвертичные отложения; *9* — тектоническое нарушение; *10* — графики *Za*.

Авдеев А. В. О значении систематического изучения глубинных ксенолитов. Тр. Ин-та геол. наук АН КазССР, т. 25, 1968.

Аристов В. В., Ляхов Л. Л., Королев Б. Н., Кадыров И. Н. Сочетание геологических и геофизических методов при изучении известных рудных районов. М., Госгеолтехиздат, 1960.

Аэров Г. Д., Кудрявцев Ю. К., Морозова Д. Н., Попов В. С. Геологическое строение Бектауатинского гранитного массива (Центральный Казахстан). Сов. геология, № 11. 1966.

Духовский А. А. Приближенное определение вертикальных размеров геологических размеров геологических образований по магнитным аномалиям. Разведочная геофизика, № 12, 1966.

Духовский А. А., Кронидов И. И. Разностные логарифмические палетки для интерпретации аномалий силы тяжести над уступами. Разведочная геофизика, № 18, 1967.

Духовский А. А. Графический способ определения углов наклона контактов и избыточной плотности выходящих на поверхность тел по вариационным кривым $\delta\Delta g$. Разведочная геофизика, № 30, 1968.

Духовский А. А., Никольская Ж. Д., Рождественский Ю. П. О расчленении гранитных интрузий акчатауского комплекса Центрального Казахстана в связи с их рудоносностью. ДАН АН СССР, серия геол., т. 180, № 6, 1968.

Елисеев А. Н. Структурная петрология. Л., Изд-во ЛГУ, 1953.

Монич В. К. О векторном анализе трещин отдельности интрузивных массивов. Изв. АН Каз. ССР, серия геол., вып. 25, 1956.

Монич В. К. Петрология гранитных интрузий Баян-Аульского района в Центральном Казахстане. Алма-Ата, Изд-во АН Каз. ССР, 1957.

Монич В. К. Об использовании слабоориентированных текстур изверженных пород для структурного анализа магматических тел. Сб. научных трудов, № 20, Казах. горно-металлург. ин-т, 1959.

Пермяков Е. Н. Основы методики использования трещиноватости горных пород для изучения тектоники платформенных областей. Тр. Моск. филиала Всесоюзн. нефт. научно-иссл. ин-та, вып. 2, 1951.

Троянский В. Т. К вопросу о возможности исследования интрузивов сейсмическими методами разведки. Разведка и охрана недр, № 2, 1957.

УДК (550.8 : 528.94) : 552.4

М. А. Черноморский

О МЕТОДАХ РАСЧЛЕНЕНИЯ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ТОЛЩ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧАМ КРУПНОМАСШТАБНОЙ СЪЕМКИ

В основу методики расчленения метаморфических толщ может быть положен целый ряд критериев, базирующихся на данных литологии (петрографии), стратиграфии, структурного анализа, метаморфизма, магматизма, абсолютного возраста. Комплексное использование указанных критериев, роль каждого из которых в конкретных случаях может быть неравноценной, позволяет выделять метаморфические комплексы, отвечающие определенным тектоно-магматическим циклам, и производить в дальнейшем более дробное их расчленение в соответствии с требованиями крупномасштабной геологической съемки.

Однако нередко даже выделение таких крупных подразделений представляет большие трудности, что связано со спецификой строения и состава суперкрустальных толщ, чему в статье и будет уделено главное внимание.

От более молодых неметаморфизованных отложений древние метаморфические толщи отличаются, как правило, исключительной сложностью структуры (Дук, 1967; Елисеев, 1967; Эз, 1967; Turner, Weiss, 1963 и др.), которая характеризуется широким распространением изоклинальной складчатости, являющейся, по мнению К. Г. Войновского-Кригера (1948), крайней степенью усложнения пликативной структуры. Изоклинальная складчатость — это и есть во многих случаях специфический стиль деформаций древних метаморфических толщ, что определяет и особенности методики их изучения и расчленения. Сразу же следует подчеркнуть, что сложность изучения структур древних толщ связана часто с большими трудностями выявления самих изоклинальных складок. Такого рода складки отличаются большой амплитудой и малым размахом крыльев, т. е. узкой, сжатой формой, и диагностика их в обнажениях представляет собой нелегкую задачу. Даже в выходах достаточно крупных часто приходится наблюдать только крылья этих складок, которые создают иллюзию нормального напластования слоев метаморфических пород, в данном случае совершенно не отражающего истинного залегания толщи. Выводы о том, что залегание пород является здесь спокойным, а структура простой, не могут считаться достоверными до тех пор, пока не предприняты специальные поиски изоклинальных складок и не будет твердой уверенности, что их действительно нет.

К числу признаков существования изоклинальной складчатости можно отнести следующие:

1. Самым надежным признаком является наличие замков складок, наблюдаемых среди одинаково падающих слоев. Если учесть часто встречающуюся несоразмерность амплитуды складок и масштаба обнажений, то поиски замков складок могут потребовать дополнительных затрат сил и времени, что, однако, делать необходимо. Имеющиеся материалы свидетельствуют о том, что встречаются изоклинальные складки «длиной» (т. е. амплитудой) в десяки (и больше) метров, при «ширине» (т. е. размахе крыльев) в первые единицы метров. Разумеется, что, не имея представления о стиле складчатости данной толщи, быва-

ет очень соблазнительно при составлении разреза принимать такую складку за вполне нормальный пласт и соответствующим образом строить стратиграфическую колонку.

2. Признаком изоклинальной складчатости может быть также циклическая сложная повторяемость слоев в разрезах обнажений, что должно определенным образом настораживать и побуждать предпринимать поиски более надежных признаков, таких, как замки складок.

3. Среди толщи моноклинально падающих пород признаком присутствия изоклинальных складок могут служить и мелкие складки волочения, указывающие на чередующееся нормальное и опрокинутое залегание пород.

При недооценке фактов, подтверждающих возможность существования изоклинальной складчатости, в процессе геологической съемки может быть допущен целый ряд ошибок, основывающихся на неправильной методике изучения стратиграфии изоклинально-складчатых толщ.

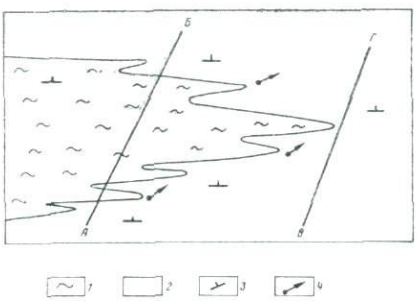


Рис. 1. Изоклинальная антиклиналь с падением осевых плоскостей складок к северу.

1 — гнейсы; *2* — амфиболиты; *3* — падение осевых плоскостей; *4* — падение шарниров складок.

Во-первых, в обнажении обычно замеряется залегание крильев изоклинальных складок, что совершенно не отвечает действительному залеганию толщи, которое определяется положением в пространстве пакета складок. Такой пакет соответствует в принципе понятию «сложный слой», введенному К. Г. Войновским-Кригером (1948) и затем рекомендованному Г. Д. Ажгиреем (1956).

Во-вторых, могут быть сделаны неверные выводы о фациальной изменчивости толщ. В узких сжатых изоклинальных складках кристаллизационная сланцеватость, будучи параллельной их осевым плоскостям, практически совпадает с первоначальной слоистостью и поэтому, замеряя залегание такой толщи, мы, в сущности, фиксируем пространственное положение осевых плоскостей изоклинальных складок. Производя прослеживание пород по «простиранию» мы двигаемся вдоль осевых плоскостей складок, а не по простиранию слоев в целом и поэтому можем наблюдать смену состава пород, обусловленную вовсе не фациальной изменчивостью толщи. На рис. 1 показана изоклинальная антиклинальная складка, сложенная, например, гнейсами, имеющая широтное простирание и погружающаяся к северо-востоку. В крыльях складки залегают амфиболиты.

Структура участка, на первый взгляд, представляется как моноклиналь, и если бы мы составили разрезы по линиям АБ и ВГ, то можно было бы сделать неверный вывод о быстром выклинивании гнейсов и о фациальной невыдержанности толщи в целом.

В-третьих, в древних толщах изоклинальной складчатостью бывает обусловлена ложная ритмичность и цикличность строения разрезов. Известны случаи, когда составлялись стратиграфические колонки, скрупулезно подсчитывалось в них количество ритмов и циклов, что являлось чистейшей фикцией, так как впоследствии в разрезах изученных толщ находились изоклинальные складки.

Сложность строения супракрустальных толщ бывает обусловлена также и тем, что их структура образовалась в результате неоднократных деформаций. В последующие этапы складкообразования деформациям подвергаются уже сформированные складчатые структуры, а также и поверхности несогласия, если таковые имеются; в изоклинально-складчатой толще деформируются и изгибаются осевые плоскости скла-

док, параллельная им полосчатость и сланцеватость ранних генераций, в результате чего могут возникать более спокойные инфраструктуры, характеризующиеся сравнительной простотой. Одним из примеров таких структур могут служить ложные купола, антиформы, синформы, имеющие с нормальными положительными и отрицательными структурами, антиклиналями и синклиналями лишь внешнее сходство (по В. Л. Дуку и В. А. Глебовицкому, см. ниже). Этим, вероятно, и обусловлено то обстоятельство, что существуют представления об исключительной простоте структур докембрия (Синицын, 1956 и др.). При определенном тектоническом положении метаморфического комплекса такие выводы, конечно, могут быть вполне справедливы, хотя во многих случаях, как уже говорилось, эта простота структуры является кажущейся и отражает только конечные этапы деформации.

Подытожив все изложенное, можно сделать вывод, что, не выяснив структуру сложноскладчатой метаморфической толщи, во многих случаях бывает невозможно установить закономерности строения ее стратиграфического разреза. Если в последокембрийских отложениях мы обычно составляем опорные разрезы и, базируясь на них, картируем и делаем тектонические построения на основе стратиграфического материала, то при работе в областях развития древних кристаллических образований приходится часто осуществлять противоположный методический принцип: от структур к стратиграфии. Это, понятно, не умаляет значения литолого-стратиграфических методов, но в отрыве от метода структурного анализа значение их существенно может снижаться.

Изучение структуры древних толщ требует большей детальности, тщательности наблюдений, что в большой мере достижимо при крупномасштабных геологических съемках. Метода пересечений здесь, как правило, бывает недостаточно и особое внимание следует уделять прослеживанию пород по простиранию, учитывая при этом все те сложности и сюрпризы, которые могут возникать при картировании изоклинально-складчатых толщ. Как видно из рис. 1, формальное сопоставление разрезов здесь недопустимо, а различные экстраполяции должны проводиться очень осторожно.

В процессе изучения складчатой структуры необходимо фиксировать положение в пространстве основных параметров складок и особенно их осевых плоскостей и шарниров, без чего невозможно и выявить складки разных генераций. Ориентировка шарниров может указывать на общее погружение или воздымание структуры низшего порядка, что важно, например, и в таких случаях, как показано на рис. 1. Закономерно-различное положение шарниров может свидетельствовать о существовании различных генераций складок, для выявления которых требуются регулярные замеры ориентировки шарниров — осевых плоскостей складок и установление их пространственных соотношений. Для выяснения таких соотношений, морфологии и характера структур весьма полезен геометрический анализ, который у нас только еще начинает разрабатываться применительно к древним толщам.

Изучение структур необходимо не только для целей стратиграфии, но и для выяснения истории и последовательности метаморфических процессов. В этом отношении большую роль играет метод микроструктурного анализа, с помощью которого можно судить о пространственно-временных связях между деформациями и метаморфизмом различных этапов (Елисеев, 1967). В качестве критериев, на которых основывается выявление таких соотношений, как известно, используются, с одной стороны, разнопорядковые структурно-текстурные элементы пород, с другой — различного рода новообразования, фиксирующие определенные фазы кристаллизации, связанные с деформацией.

Исходя из представлений о тесной взаимосвязи тектонических и метаморфических процессов в ходе их эволюции, сотрудниками ИГГД

В. Л. Дуком и В. А. Глебовицким * был разработан так называемый структурно-метаморфический метод, основанный на данных детального структурного и петрологического изучения древних метаморфических пород. Применение этого комплексного метода позволяет решать очень важные вопросы расчленения метаморфических образований.

В ряде случаев устанавливается, что совместная складчатая деформация двух различных комплексов еще не является прямым доказательством их одновозрастности и принадлежности к единому циклу тектогенеза. Более древние комплексы, наряду с разрывными деформация-

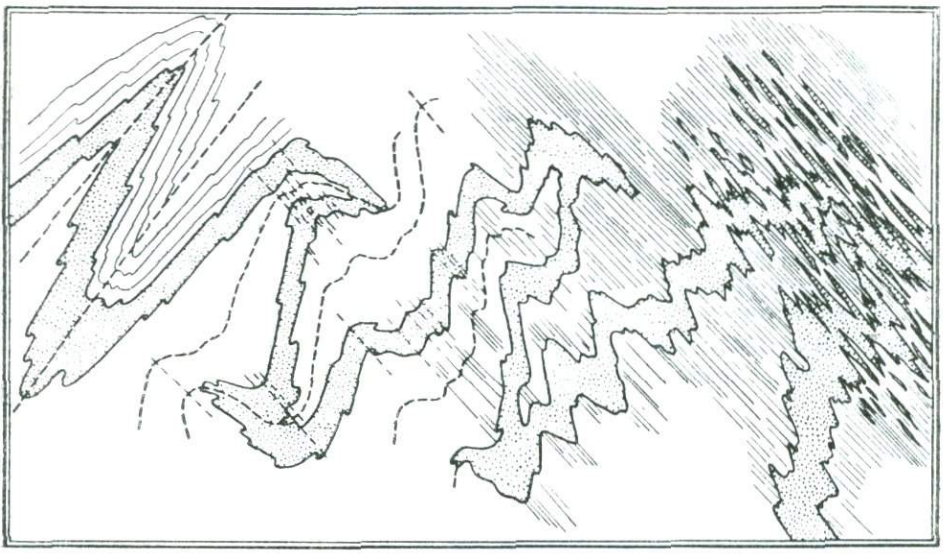


Рис. 2. Схема наложения деформации иного плана на более раннюю складчатость (по Turner, Weiss, 1963).

ми, могут подвергаться и пластическим преобразованиям вместе с перекрывающими их комплексами, что приводит к известной нивелировке их структурного плана. Особенно такая нивелировка может проявляться в краевых частях массива более древнего комплекса. Как показано на рис. 2, наложение позднейшей деформации приводит к значительному искажению и перестройке плана структур ранних генераций, и структура толщи в итоге может приобретать характер ложной моноклинали (Turner, Weiss, 1963). В результате структурного анализа и установления последовательности деформаций в древнем комплексе может выявиться совершенно иной структурный план ранних генераций складок, который затушеван поздними деформациями, по времени и положению в пространстве совпадающими с деформациями молодого комплекса.

С другой стороны, в результате петрологического изучения выясняется характер метаморфизма пород контактирующих комплексов. В более древнем комплексе может проявляться наложенный метаморфизм, изофациальный с региональным метаморфизмом молодого комплекса. В числе таких проявлений наложенного метаморфизма отмечается и диафторез. Все эти явления, наряду с совместной деформацией разновозрастных комплексов, приводят к тому, что в зоне контакта

* Доклад, прочитанный на конференции, посвященной вопросам стратиграфии Балтийского щита (Ленинград, февраль 1967 г.).

разница между этими комплексами сглаживается как по степени метаморфизма, так и по характеру и ориентировке структур.

Как это видно, рассмотренная методика имеет самое непосредственное отношение и к проблеме выявления несогласий, которые в суперкрустальных древних отложениях устанавливаются с большим трудом. Не исключено, что причиной тому служит не действительное отсутствие несогласий, а исключительная сложность их расшифровки и известное несовершенство методики наблюдений. Перечисленные выше обстоятельства (нивелировка структурного плана разновозрастных толщ и проявления наложенного метаморфизма в древнем комплексе) приводят к возникновению так называемых постепенных переходов между комплексами, которые нередко расцениваются как однозначное доказательство в пользу непрерывности разреза и отсутствия несогласий.

Но при этом небезынтересно вспомнить, что даже в неметаморфизованных палеозойских и более молодых отложениях, как это видно из литературы, постепенные переходы не являются строгими критериями отсутствия несогласия (Ажгирей, 1956; Рухин, 1962). А. А. Богдановым (1949) для подобных случаев предлагался термин «скрытое несогласие» — когда по тем или иным причинам установить положение поверхности несогласного контакта невозможно, хотя по другим признакам наличие его в принципе доказывается.

Таким образом, методика выявления несогласий в древних толщах должна базироваться на комплексном использовании охарактеризованных выше критериев, включая также и данные стратиграфии, магматизма; здесь большое значение имеет детальность наблюдений, что достижимо в процессе планомерной крупномасштабной съемки.

К методике расчленения древних метаморфических толщ непосредственное отношение имеют также вопросы типизации метаморфических комплексов. Различие в степени метаморфизма пород, получающее обычно свое выражение в развитии метаморфической зональности, является одним из важных критериев при геологическом картировании. Расшифровка соотношений зон и фаций метаморфизма со стратификацией и структурой толщи позволяет судить о месте метаморфизма в геологической истории района и его соответствии относительному возрасту (стратиграфическому положению) пород.

В этом отношении представляет интерес методика Б. Я. Хоревой (1966), выделяющей два типа регионального метаморфизма и соответственно два типа метаморфических комплексов.

Комплексы I типа (динамогеотермический метаморфизм) характеризуются совпадением границ зон и фаций метаморфизма с рубежами стратиграфических и структурных подразделений и относительно равномерным распространением пород определенных фаций на больших площадях. Комплексы II типа (плутонический метаморфизм) отличаются меньшим масштабом пространственного развития, относительно быстрой сменой зон и фаций метаморфизма и их несоответствием стратификации толщи. Метаморфизм последнего типа не отражает возраста субстрата и может проявляться в образованиях самого различного стратиграфического положения.

Здесь нет необходимости касаться теоретической сущности рассматриваемой концепции, применяемых в ней терминологии и экстраполяций, в чем могут существовать дискуссионные моменты. Однако в практическом отношении типизация метаморфических комплексов на вышеприведенной основе позволяет выявлять возможности использования степени регионального метаморфизма как критерия относительного возраста пород, что возможно лишь при картировании метаморфических комплексов I типа. Такого рода критерий может быть надежным в пределах ограниченных площадей, в частности определенных структурно-

фациальных зон, и поэтому весьма важен именно при крупномасштабных геологосъемочных работах, способных также обеспечить и требующуюся здесь детальность и комплексность исследований.

В заключение необходимо подчеркнуть, что многие из упомянутых выше методик до сих пор в основном были осуществимы лишь при специальных тематических исследованиях; при средне- и мелкомасштабной съемке они были, по ряду известных причин, мало доступны. Однако в процессе крупномасштабных геологосъемочных работ (1 : 50 000, 1 : 25 000), которые начинают теперь проводиться в нашей стране широким фронтом, они могут и должны найти постоянное применение, так как без них невозможно решение целого ряда принципиальных вопросов стратиграфии, тектоники и метаморфизма древних толщ в соответствии с возросшими требованиями к результатам геологической съемки.

ЛИТЕРАТУРА

Ажгирей Г. Д. Структурная геология. М., Изд. МГУ, 1956.

Богданов А. А. Несогласия, их типы и значение их изучения. Изв. АН СССР, серия геол., № 2, 1949.

Войновский-Кригер К. Г. Некоторые соображения об изоклинальной складчатости. БМОИП, отд. геол., т. 23 (6), 1948.

Дук В. Л. Складки зоны ультраметаморфизма. Л., Наука, 1967.

Елисеев Н. А. Складки и складчатость. Л., Наука, 1967.

Рухин Л. Б. Основы общей палеогеографии. Л., 1962.

Синицын Н. М. О тектонике докембрия. Вестник ЛГУ, № 6, 1956.

Хорева Б. Я. Типы регионального метаморфизма и условия их проявления в подвижных поясах. Геотектоника, № 6, 1966.

Эз В. В. О роли изоклинальной складчатости в структуре беломорид. Геотектоника, № 3, 1967.

Turner F. J., Weiss L. E. Structural analysis of metamorphic tectonites. New-Jork, 1963.

УДК 552.4 : (552.122+552.124.3)

В. И. Васильева, В. Я. Хильтова, А. А. Савельев, И. А. Саминина

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРИРОДЫ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Требования к составлению крупномасштабных геологических карт предусматривают детальное стратиграфическое расчленение метаморфических комплексов, выяснение истории геологического развития района и выявление последовательности процессов осадконакопления, что возможно лишь при углубленном изучении вещественного состава метаморфизованных образований и условий их формирования.

Все это вызывает необходимость установления первичной природы метаморфических пород, на что указывается в «Основных положениях организации и производства геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000)».

При реконструкции первичной природы метаморфических пород важнейшими критериями являются:

1) геологические условия залегания и парагенетические ассоциации; 2) реликтовые текстуры и структуры; 3) химизм пород; 4) акцессорные минералы. Каждый из этих признаков позволяет восстанавливать те или иные особенности первичных образований, подвергшихся метаморфизму.

Следует подчеркнуть, что только комплексное изучение всех перечисленных выше признаков позволяет достаточно надежно восстанавливать характер и условия образования исходных пород.

Большинство геологических критериев, используемых при выявлении генетической природы метаморфических пород, в частности характер залегания и природные парагенезисы, достаточно известны и широко применяются в практике геологосъемочных работ. Здесь следует отметить только те из них, которые недостаточно учитываются при анализе первичной природы метаморфических образований. К их числу относятся наблюдения над контактами, имеющие решающее значение при выделении метаморфизованных изверженных пород. В частности, детальное изучение контактов очевидно является необходимым при разделении метаморфизованных пластовых интрузий и покровных эффузивов и особенно гранитоидных образований. Последние в зависимости от времени их формирования относительно процессов регионального метаморфизма могут иметь четко отличные зоны контактов.

Использование этого признака существенно облегчает, тем самым, генетическое и возрастное расчленение гранито-гнейсов.

Парагенетические ассоциации пород нередко могут помочь при выявлении генетической природы метаморфических пород, например параамфиболитов, образованных за счет известково-глинистых пород, для которых характерно сонахождение с мраморами-кальцифирами.

Случай, когда пластовые тела амфиболитов сходного состава при частой повторяемости в разрезе не образуют определенных парагенетических ассоциаций, типичен для метабазитов. При этом силлы метабазитов, подобно параамфиболитам, могут быть значительно выдержанными по простиранию и чередоваться с метаморфизованными осадочными породами. В то же время пластовые тела метабазитов часто тяго-

тяют к границам крупных ритмов (макроритмов). Однако и для ортоамфиболитов намечаются определенные парагенетические ассоциации. Так, чрезвычайно типичным является парагенезис метабазитов с высокоглиноземистыми (кианитовыми или хлоритоидными) сланцами (кейвская свита Кольского полуострова, пурпольская свита Патомского нагорья); для этого парагенезиса характерно отсутствие мраморов. Эта закономерная ассоциация, по-видимому, может быть объяснена при учете формационного своеобразия исходных среднепротерозойских толщ, образующихся в платформенных условиях (Головенок, 1966), для которых типично проявление основного магматизма (типа трапповых формаций). Вопрос же об условиях возникновения ассоциации амфиболитов и высокоглиноземистых сланцев в архее пока еще не может считаться решенным.

В то же время во многих регионах широко распространены амфиболиты, согласно залегающие и переслаивающиеся со слюдяными гнейсами и кристаллическими сланцами (т. е. первично-нормально-глиноземистыми породами). В этом случае особенности химизма, условия залегания и комплекс акцессориев дают возможность предполагать наличие как пара-, так и ортоамфиболитов (Трусова, 1956, 1967; Филатова, 1962). Таким образом, намечается принадлежность данной ассоциации к различным типам первичных формаций.

Надежным критерием установления первичной природы являются реликтовые структуры и текстуры. Среди изверженных пород наиболее часто первичные текстуры и структуры сохраняются в основных породах, которые устойчивы к термальному воздействию и гидростатическому давлению, вплоть до амфиболитовой фации включительно. Именно поэтому в них обычно встречаются реликтовые структуры, в частности габбровые и офитовые. Известны многочисленные примеры сохранности реликтов структур изверженных основных пород: офитовой, порфировидной, габбро-офитовой, габбровой в целом ряде районов: Кольский полуостров (Мирская, 1960), Украина (Половинкина, Наливкина, 1959).

В эффузивных породах первичные структуры устанавливаются несравненно реже. Однако и в эффузивах были обнаружены достаточно хорошо сохранившиеся (несмотря на глубокий метаморфизм пород) первично-магматические текстуры (миндалекаменные) и структуры (порфировые) (Ефимов, 1968). Нередки в них и некоторые реликтовые минералы (авгит, плагиоклаз).

Подобные текстуры и структуры известны и в более кислых разновидностях. Пример хорошей сохранности первично-магматических структур до амфиболитовой фации включительно описан М. М. Мануйловой (1960) для вулканогенной толщи бассейна р. Миня (Северо-Байкальское нагорье).

В то же время большинство туффитов и туфов, даже тех, которые в неизмененном состоянии имели четкую слоистость, при метаморфизме часто теряют ее и становятся внешне массивными. Это связано со слабой химической дифференциацией по отдельным слоям, что весьма обычно у таких образований. Естественно, что при метаморфизме при перекристаллизации пород сохраняются только те слоистые текстуры, которые в той или иной степени контрастны по химическому составу. Поэтому монотонные толщи амфиболитов, не обнаруживающие слоистых текстур, чаще всего принадлежат ортообразованиям.

До последнего времени многие исследователи полагали, что метаморфизм полностью уничтожает или настолько искажает осадочные текстуры, что использование их для определения первичной природы невозможно. Однако первично-осадочные текстуры и структуры все чаще выявляются среди глубоко метаморфизованных пород. К ним относятся различные слоистые текстуры (в том числе ритмичная и косая

слоистости), оползневые структуры, знаки ряби, трещины усыхания и т. д.

Изучение первичных текстур осадочных пород в условиях метаморфической зональности позволило установить хорошую их сохранность, по крайней мере до амфиболитовой фации включительно. Некоторые слоистые текстуры становятся даже более контрастными при метаморфизме. Метаморфизм приводит к уничтожению микротекстур в том случае, когда размер новообразованных минералов соизмерим с мощностью микрослоев. Для ритмичной слоистости прежде всего характерно накопление в основании микроритмов наиболее устойчивых компонентов, что наблюдается также и в метаморфических породах. Так, при метаморфизме слоистых терригенных пород в условиях амфиболитовой фации сохраняются основные особенности ритма, выражающиеся в метаморфизованных породах в более лейкократовом характере основания ритма, в частности в наличии кварцитов, слюдистых кварцитов, сменяющихся в верхней части биотитовыми гнейсами, гранат-биотитовыми сланцами, ставролит-дистеновыми и другими глиноземистыми сланцами. Природные ряды почти никогда не бывают полными, но последовательность перехода сохраняется.

При мигматизации различия между отдельными элементами ритма стираются по мере усиления процесса. В мигматитах, как правило, уже отсутствуют такие типоморфные для отдельных элементов ритма минералы, как гранат, ставролит, дистен, и различия между элементами ритма часто исчезают. В крайнем случае мигматизации остается только два ряда: лейкократовый и меланократовый.

Химизм. Использование особенностей химизма метаморфических пород основывается на данных о существенно изохимическом характере регионального метаморфизма. Исследования последних лет дают основание считать, что в условиях прогрессивного регионального метаморфизма не происходит существенного изменения химизма исходных пород в отношении главных породообразующих и малых элементов (Shaw, 1954; Engel, 1958, 1960; Предовский, Петров и др., 1967; Горлицкий, 1969). Это, естественно, не исключает потери летучих компонентов, воды и малозаметного при обычных методах исследования незначительного перераспределения некоторых элементов. Очевидно также существенное изменение химического состава породы при явлениях ультраметаморфизма и ощутимая миграция элементов при различных типах метасоматических преобразований и регрессивном метаморфизме.

Специальное изучение петрохимии филлитов (Хильтова, Савельева, 1969) было проведено в Северо-Байкальском нагорье, в бодайбинской серии верхнепротерозойского возраста, которая метаморфизована в условиях различных фаций, от зеленосланцевой до амфиболитовой включительно, вплоть до зоны ультраметаморфизма. При этом метаморфическая зональность занимает резко секущее положение по отношению к тектоническим структурам пород. Для пород свиты типична тонкая ритмичность, причем характер ритмичности сохраняется на всем протяжении свиты филлитов, во всех зонах метаморфизма. Для петрохимического изучения отбирались только первично-пелитовые породы верхней части ритма (среднее из 22 проб для каждой из 6 зон) от наименее измененных (филлиты) до пород зоны амфиболитовой фации (гранат-биотитовые гнейсы и сланцы) близ границы с зоной ультраметаморфизма.

Сравнение анализов пород этих зон показало, что их химический состав практически не меняется при повышении степени метаморфизма. Некоторые незначительные колебания в содержании ряда окислов (SiO_2, CaO, MgO) обусловлены примесью обломочного, преимущественно кварцевого материала в исходных глинах или локально проявленными процессами доломитизации. Наиболее убедительна почти полная

идентичность в содержании щелочей во всех указанных зонах метаморфизма.

По данным Предовского (Предовский и др., 1967), полученным на основе изучения геохимических особенностей докембрийских метаморфических толщ Северного Приладожья, в условиях прогрессивного регионального метаморфизма не устанавливается миграции рудогенных элементов, наблюдается лишь некоторое перераспределение их на небольших площадях.

Данные о существенно изохимическом характере прогрессивного регионального метаморфизма приводят к возможности использования химических анализов метаморфизованных пород для определения состава исходных образований. Петрохимические критерии, таким образом, в принципе являются достаточно надежными при разделении метаморфических пород и выявлении их первичной природы.

Однако большинство существующих методов разделения пара- и ортообразований на основе соотношений между главными породообразующими окислами являются в значительной мере схематичными и отражают лишь наиболее общие особенности определенных групп пород. Это касается прежде всего способа пересчета химических анализов, предложенного Ниггли и широко применяемого до сих пор при разделении метаморфизованных осадочных, хемогенных и изверженных пород. При использовании диаграммы Ниггли возможны случаи попадания заведомо осадочных метаморфизованных образований в поле изверженных пород. Особенно ненадежен метод «чисел» Ниггли для выявления природы амфиболитов. Очевидно, его применение возможно лишь для расчленения пород изверженного ряда.

Предложенный в последнее время Н. А. Доморацким (1964) диаграммный способ разделения пород, при котором за основу принимаются соотношения только инертных компонентов, предполагает также расшифровку первичного состава регионально метаморфизованных пород, претерпевших метасоматический привнос и вынос вещества.

Не останавливаясь подробно на разборе диаграммы Доморацкого, необходимо отметить некоторые недостатки предлагаемого метода. В частности, существование широких полей неопределенности на диаграммах не позволяет уверенно устанавливать природу таких распространенных пород, как биотитовые плагиоклазовые гнейсы, гранитогнейсы. Кроме того, не может быть уверенно решен вопрос о природе амфиболитов. Выяснение же генезиса амфиболитов часто имеет первостепенное значение, так как определяет принадлежность метаморфизованного осадочного комплекса к тому или иному типу формаций.

Именно поэтому многие исследователи пытались найти способы, которые давали бы однозначное решение при определении первичной природы амфиболитов. К числу их относятся: способы Лападю-Арга — по содержанию TiO_2, которое, по его мнению, в параамфиболитах не превышает 0,8% * (Лападю-Арг, 1967), а также по сумме FeO, MgO CaO, Na_2O (1953); метод Дагелайского (1965) — по соотношению нормативных ассоциаций (по Барту) и по содержанию в амфиболитах кремнекислоты и закиси железа; принципы отличия пара- и ортоамфиболитов по содержанию элементов-примесей — Ni, Co, Cr (Engel, Engel, 1951) или Cr, Ni, V (Миловский, 1964) и ряд других **. В отдельных случаях эти способы могут быть использованы. Однако целый ряд причин затрудняет разделение метаморфических образований, особенно основного состава, на генетические группы. Прежде всего, как известно,

* Следует отметить, что предлагаемый принцип непригоден в случае исходных осадочных пород, обогащенных органическим веществом и характеризующихся, как правило, повышенным содержанием TiO_2.

** В последнее время предложен способ отделения ортоамфиболитов от амфиболитов, образовавшихся за счет граувакк (Moine, Roche, 1968).

даже одна и та же группа пород может иметь различные геохимические особенности в разных формациях и даже в однотипных формациях в пределах отдельных структурно-фациальных зон. Кроме того, для некоторых типов первичных осадков устанавливается сходство их со средним составом магматогенных образований, объясняемое слабой степенью выветривания при выносе лишь некоторых подвижных элементов. Возможно, этим объясняется получаемая во многих случаях первично-магматическая природа метаморфических пород (особенно основного состава, в частности амфиболитов). Однако в последнее время намечается возможность достаточно четкого расчленения амфиболитов при использовании определенных параметров химического состава, в частности $\Sigma Al+Fe+Ti$ и $\Sigma Ca+Mg$, при учете содержаний K и Na (Moin, Roche, 1968), а также путем анализа при помощи дискриминантной функции (Shaw, Kudo, 1965).

Для большинства парапород методика петрохимических исследований, основанная на использовании первичного состава неизмененных осадков, является наиболее перспективной для целей формационного анализа.

Одной из попыток в этом направлении являются изохимические ряды, предложенные П. П. Семененко. Для существенно глиноземистых метаморфических сланцев может быть с успехом использована треугольная диаграмма, составленная А. Б. Роновым и З. В. Хлебниковой, на которой выделены средние составы глин различного генезиса (морских, континентальных и т. д.), что позволяет использовать химический состав метаморфических сланцев для восстановления палеогеографической обстановки формирования исходных глинистых толщ (Головенок, 1966). Но этот анализ всегда должен сопровождаться геологическим, петрографическим изучением пород в связи с возможностью возникновения дистеновых и силлиманитовых сланцев, т. е. высоких концентраций Al_2O_3, при метасоматических процессах, в частности при кислотном выщелачивании.

В последние годы для целей реконструкции первичного характера метаморфизованных суперкрустальных образований по их химизму намечается новое направление, которому свойственно стремление отразить на диаграммах и в методиках пересчета анализов специфические тенденции осадконакопления. К числу последних относятся диаграммы Симонена (Simonen, 1953) и Пелтола (Peltola, 1960), при построении которых учитываются тенденции преобразования вещества при выветривании и осадконакоплении: отделение кремнекислоты от фемических компонентов, накопление глинозема и ряд других. Это находит свое отражение в выборе параметров при построении диаграмм: (al—fm)—(c—alk)+Si или $A=al-(CaO+Na_2O+K_2O)$ $S=SiO_2$. Диаграмма Симонена используется для разделения метаморфических пород в пределах Балтийского щита.

Выяснение первичной природы метаморфических пород, разделение их на первично-глинистые сланцы, аркозы и граувакковые песчаники производится также на основании так называемого «показателя зрелости выветривания», определенного по содержанию SiO_2 и отношению Na_2O/K_2O, а также индекса сортировки осадочного материала ($\Sigma MgO+FeO+Fe_2O_3$), вычисленного для неизмененных осадков (Мучаидзе и др., 1967).

Наиболее интересна в этом отношении новая диаграмма распознавания первичной природы метаморфизованных осадочных и вулканогенно-осадочных пород по петрогенным элементам, предложенная А. А. Предовским (1970). Она дает возможность детализации генетического исходного типа метаморфических пород и, очевидно, наиболее применима для целей стратиграфической корреляции докембрийских толщ.

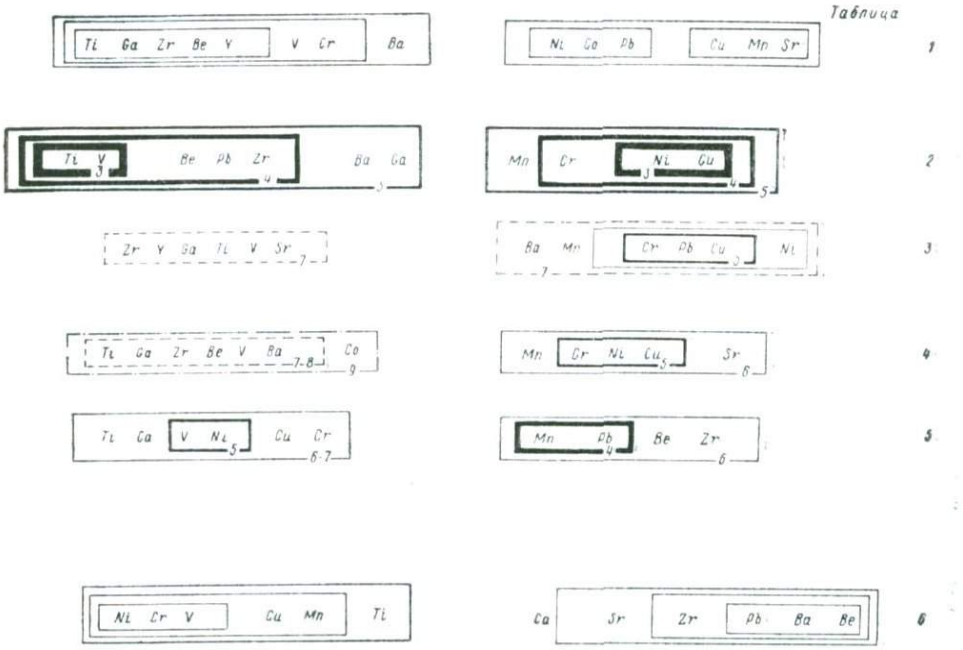
При реконструкции первичного состава и условий формирования метаморфизованных образований достаточно эффективным оказывается использование статистического корреляционного анализа геохимических данных. Разработанный в отделе математических методов ВСЕГЕИ Ю. К. Бурковым (1968) аппарат многократной корреляции позволяет производить количественную оценку связей между элементами, при которой учитываются не только коэффициенты парной корреляции, но и взаимоотношения каждой пары элементов со всеми остальными, а также рассчитываются положительные и отрицательные коэффициенты корреляции различных порядков: от более интенсивных (первого, второго, третьего порядка) к менее интенсивным, на основе которых устанавливаются ведущие ассоциации элементов для каждого геологического объекта. При этом на основе статистического анализа оценивается изменение корреляционных связей элементов (т. е. согласованность изменений их концентраций) и ряда относительной подвижности малых элементов, характеризующих отдельные типичные обстановки седиментации (например, условия механического выветривания, континентальные условия, глубокого химического выветривания, морского бассейна и т. д.), а также ведущие ассоциации основных групп магматических пород.

Проверка возможности привлечения методов статистического корреляционного анализа для восстановления первичной природы отдельных типов глубоко метаморфизованных образований была произведена для биотитовых гнейсов, мигматитов, гранито-гнейсов докембрийской метаморфической толщи нагорья Сангилен (Юго-Восточная Тува), первичная природа которых достаточно хорошо обосновывается геологическими данными. В частности, установлена параприрода гранито-гнейсов и формирование их in situ, доказывающиеся ненарушенным залеганием внутри так называемых гранитных «массивов» пластов мраморов. Кроме того, сделана попытка оценить влияние процессов мусковитизации и диафтореза на изменение характера ассоциаций малых элементов. В таблице приведены ассоциации, полученные на основе статистической обработки данных спектральных анализов для трех типов пород: однородных биотитовых гнейсов *2*, мигматитов (полосчатых гнейсов) *3*, гранито-гнейсов *4*. Сравнение рядов подвижности и ассоциаций элементов-примесей биотитовых гнейсов с эталонными характеристиками осадочных глинистых толщ (образующихся в условиях мелководного морского бассейна *1*) показывает, что они обнаруживают определенное сходство. Это выражается в появлении двух ведущих ассоциаций элементов, в первой из них наиболее тесно связаны между собой Ti и V (положительная корреляция третьего порядка), к которым присоединяются Be и Zr (корреляция четвертого порядка). Вторую ассоциацию элементов представляют Ni, Cu, Cr, Mn (соответственно корреляция третьего, четвертого, пятого порядка). В то же время рассматриваемые породы по характеру ассоциаций элементов существенно отличаются от магматических образований *6*, так как здесь полностью отсутствуют признаки четкого деления элементов на фемофилы и фельсифилы. В единые группы объединяются и образуют тесные положительные связи типичные элементы основных пород Ti, V с типичными элементами гранитоидов — Ba, а также Zr.

Отличие мигматитов и гранито-гнейсов по сравнению с однородными мелкозернистыми биотитовыми гнейсами прежде всего в ослаблении силы положительных связей в пределах двух основных групп, однако в принципе характер связей между концентрациями малых элементов, унаследованных от исходных пород, в общих чертах сохраняется. Поведение Sr, резко нарушающего общую картину определенной унаследованности ассоциаций элементов-примесей первично-глинистых пород объяснима, если учесть изоморфизм Sr и Ca в плагиоклазе. Рез-

ко отличное поведение Sr связано или с бо́льшим количеством плагиоклаза в исходных осадках, т. е. более песчанистым их составом, или с увеличением в гранито-гнейсах содержания Sr в процессе фельдшпатизации.

Однако в целом по общему характеру связей между всеми изученными элементами можно судить об исходной осадочной природе всего комплекса метаморфических пород, в том числе и гранито-гнейсов. Таким образом, указанным методом обработки геохимических данных



Ассоциации химических элементов: *1* — осадочные глинистые толщи, образующиеся в условиях мелководного морского бассейна; *2* — однородные биотитовые гнейсы; *3* — мигматиты (полосчатые биотитовые гнейсы); *4* — гранито-гнейсы; *5* — мусковитизированные биотитовые гнейсы; *6* — магматогенные образования (схема ведущих ассоциаций элементов-примесей).

могут быть выявлены устойчивые связи между концентрациями целого ряда элементов, сохраняющихся в процессе метаморфизма даже в условиях метасоматической гранитизации. В связи с этим ассоциации малых элементов, устанавливаемые на основе корреляционного статистического анализа, могут быть использованы в качестве одного из критериев при восстановлении первичной природы метаморфических образований, когда генезис их является спорным или неясным, в частности для отличия метасоматических гранито-гнейсов от магматических.

Следует отметить, что некоторые метасоматические процессы, например мусковитизация или диафторез, существенно влияют на возможность реконструкции первичной природы метаморфических пород. В таблице приведены ассоциации малых элементов в мусковитизированных гнейсах — [5], которые показывают значительные изменения характера статистических связей между концентрациями элементов-примесей, в частности Be, Zr, Ni, Co. Еще более нарушается характер ассоциаций при диафторезе.

Таким образом, при наличии процессов мусковитизации или диафтореза ассоциации элементов существенно изменяются и становятся

непригодными для оценки первичной природы метаморфических пород *.

Наилучший результат для восстановления первичного генетического типа парапород может быть получен при анализе метаморфических образований, являвшихся первоначально продуктами длительной дифференциации исходного материала в условиях химического выветривания. В этом случае типы рядов подвижности и ассоциации элементов-примесей четко индивидуализированы и позволяют достаточно определенно отличать их от основных ведущих ассоциаций магматогенных образований. В связи с этим наибольший интерес для целей палеогеографических реконструкций рассмотренным методом должны представлять сланцевые и гнейсовые толщи первично-глинистого состава. Необходимо учитывать также, что при изучении метаморфизованных осадочных пород, формировавшихся в зоне преимущественно механического выветривания магматогенных пород, они могут сохранить черты сходства с последними. Метод статистического корреляционного анализа может быть применен также при выявлении первичной природы метаморфизованных эффузивных, осадочно-эффузивных и некоторых других образований.

Таким образом, учитывая достаточную стабильность характера связей между малыми элементами по отношению к процессам собственно регионального метаморфизма, ряды подвижности и ассоциации элементов-примесей можно считать одним из критериев реконструкции первичной природы метаморфических пород.

Акцессорные минералы. Наряду с петрохимическими критериями, в настоящее время все шире применяется изучение акцессорных минералов, позволяющее решать целый ряд вопросов генезиса метаморфизованных образований.

Некоторые первично-обломочные (детритовые) акцессорные минералы, прежде всего циркон, а также монацит, ксенотим, рутил достаточно устойчивы в процессе прогрессивного регионального метаморфизма и могут быть использованы в качестве критерия для определения первичной природы метаморфических пород.

Детритовые акцессории могут сохранять свои первоначальные размеры и форму, приобретенные в процессе транспортировки до захоронения в осадке, по крайней мере до амфиболитовой фации, а при определенных условиях — вплоть до гранулитовой. От вновь образованных в процессе метаморфизма одноименных минералов они отличаются по ряду признаков — размерам, форме, окраске (Савельев, Шулешко, 1970). Такие минералы, как циркон, монацит, оказываются устойчивыми при метасоматическом процессе в условиях нейтральных или кислых сред, однако начинают растворяться в условиях даже невысокой щелочности растворов, часто приобретая при этом глянцевую поверхность и «оплавленные» овальные формы (Васильева, 1971). Эту возможность появления вторичных округлых форм акцессориев следует учитывать при анализе первичной природы фельдшпатизированных гнейсов, метасоматически измененных гранито-гнейсов и, по-видимому, метасоматических чарнокитов. Однако при тщательном исследовании, прежде всего по характеру поверхности и ряду других признаков обычно возможно установление окатанности зерен акцессорных минералов. В качестве примера можно привести кристаллические сланцы, гнейсы, гранито-гнейсы нагорья Сангилен (Юго-Восточная Тува). Сланцы содержат окатанный циркон, гнейсы — циркон с признаками растворения и перекристаллизации, но со следами окатанности, гранито-гнейсы —

* Однако метод статистической обработки геохимических данных может применяться в этом случае для анализа характера перераспределения малых элементов в процессе метасоматических преобразований.

новообразованный циркон с полузахваченными округлыми «ядрами» циркона более ранней генерации.

Исследование амфиболитов, первичная природа которых определена на основе целого ряда геологических признаков, показало, что амфиболиты различного генезиса могут резко отличаться по содержанию в них циркона (Хильтова, Савельев, 1969). Амфиболиты, образовавшиеся при метаморфизме эффузивных (и некоторой части интрузивных) пород основного состава, содержат циркон в ничтожно малых количествах и обычно в виде идиоморфных кристаллов. При этом малое количество циркона в метаэффузивах не сказывается на содержании циркония в породе (особенно в амфиболах и пироксенах), которое может быть высоким. Амфиболиты, образовавшиеся за счет осадочных пород, *всегда содержат окатанный циркон в том или ином количестве*. Такая же закономерность установлена для неметаморфизованных осадочных пород. Мергели и алевро-глинистые осадки содержат значительное количество циркона, *в основных же эффузивах он практически отсутствует*. В целом, по-видимому, минералогические черты, в частности наличие окатанных акцессориев, являются надежным критерием для разделения пара- и ортоамфиболитов.

Изучение метаморфизованных первично-глинистых пород показало, что с помощью акцессориев можно различать исходные генетические типы глин: хемогенного происхождения, почти полностью лишенные обломочных акцессориев; глины, образовавшиеся при размыве делювиальных толщ — они содержат обычно большое количестве очень мелких акцессориев ($<0{,}01$ *мм*), изучать которые лучше всего в шлифах; элювиальные глины, сохранившиеся на месте или незначительно перемещенные, сохраняют перечисленные акцессории материнских пород, за исключением монацита и ксенотима, которые в зоне выветривания часто замещаются рабдофанитом и черчитом, неустойчивыми при метаморфизме.

Изучение размерности обломочных акцессориев и определение степени их сортированности дает также возможность восстанавливать в метаморфических породах первичную гранулометрию исходного осадка в связи с установленной закономерностью определенной зависимости *размеров зерен акцессориев от размеров зерен породообразующих минералов* — это соотношение обратно пропорционально отношениям их удельных весов (Чайка, 1962; Савельев, Шулешко, 1970).

Таким образом, несмотря на существенные трудности в решении вопросов генезиса метаморфизованных образований, комплексное применение существующих методов может дать надежные результаты *даже в сложных случаях*. Реконструкция первичной природы метаморфических пород делает возможным проведение формационного анализа при картировании глубоко метаморфизованных суперкрустальных толщ.

ЛИТЕРАТУРА

Бурков Ю. К., Боровиков Л. И. Корреляционный анализ закономерностей распределения малых элементов для решения вопросов седиментогенеза. Междунар. геол. конгресс, XXIII сес. Докл. сов. геол., пробл. 8, 1968.

Васильева В. И. Особенности поведения акцессорных минералов при некоторых метаморфических процессах. Зап. Всес. мин. о-ва № 3, 1971.

Головенок В. К. Литология и палеогеография глинистых и обломочных толщ протерозоя Байкальской горной области в связи с задачами прогноза распространения глиноземистого сырья и древних россыпей. Проблемы осад. геол. докембрия, вып. 1, М., Недра, 1966.

Горлицкий Б. А. Выявление генетических особенностей докембрийских формаций методами геохимических исследований (на примере Украинского щита). Вопросы петрохимии, 1969.

Доморацкий Н. А. Определение первичной природы метаморфических пород по содержанию в них инертных компонентов. Междунар. геол. конгресс, XXII сесс. Докл. сов. геол., пробл. 16, 1964.

Дагелайский В. Б. Химизм амфиболитов. Сб. «Региональный метаморфизм докембрийских формаций СССР», М.—Л., Наука, 1965.

Ефимов М. М. Древнейшие метаэффузивы Северо-Западного Беломорья. Тр. I петрогр. совещ. Балт. щита, 1969.

Лападю-Арг П. Заметка о происхождении амфиболитов. М., 1967. Мин-во геол. ВИЭМС, рус. перевод из «Bull. de la Societe geol. de la France», 5 (18), 1948.

Мануйлова М. М. Вулканогенные породы бассейна р. Б. Мини и их метаморфизм (Северо-Байкальское нагорье). Тр. ЛАГЕД, вып. 9, 1960.

Миловский А. В. Хром, ванадий и никель в орто- и парапородах.—Геохимия, № 9, 1964.

Мирская Д. Д. Метабазиты свиты кейв и связанные с ними контактовые изменения вмещающих пород. Вопросы геологии и минер. Кольского п-ова, вып. 2, 1960.

Мучаидзе Д. Р. и др. Закономерности изменения состава терригенных комплексов в разрезе палеозоя Зеравшано-Гиссарской зоны Южного Тянь-Шаня. Вестник ЛГУ, № 18, серия геол. и геогр., 1967.

Половинкина Ю. И., Наливкина Э. Б. Нижнепротерозойская спилитовая формация Приднепровья. Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия, т. 26, 1959.

Предовский А. А., Петров В. П. Некоторые особенности химизма сланцев и гнейсов ладожской серии протерозоя в Сев. Приладожье.— Матер. по геол. и полезн. ископ. Северо-Запада РСФСР, вып. 7, 1967.

Предовский А. А. Геохимическая реконструкция первичного состава метаморфизованных вулканогенно-осадочных образований докембрия. АН СССР, Апатиты, 1970.

Савельев А. А., Шулешко И. К. Обломочные акцессории в метаморфических породах.— Литол. и полезн. ископ., № 1 (2), 1970.

Трусова И. Ф. Парагенетический анализ кристаллических сланцев нижнего архея Кокчетавского массива. Сов. геология, сб. 51, 1956.

Филатова Л. И. Докембрий Улу-Тау. М., Изд-во МГУ, 1962.

Хильтова В. Я., Савельев А. А. О методике разделения пара- и ортоамфиболитов. — Сб., посвящ. памяти Н. И. Судовикова. Л., Наука, 1969.

Чайка В. М. К методике изучения метаморфических пород. Геология и геофизика, 12, 1962.

Engel A., Engel S. Progressive metamorphism and granitisation of the mayor paragneiss, nortuest Adirondack Mountains. New Jork, pt. 1, 2. Bull of the Geol. Soc. of Amer., v. 6911, 1958, v. 71, 1960.

Moin B., Roche H. Nouvelle approche du probleme de l'origine des amphibolites à partiz de leur composition chimique. Comptes rendus de l'Acad. Sci. D 267, N 25, 1968.

Schaw D. M. Trace elements in pelitic rocks. P. I, Variation during metamorphism. P. 2, Geochemical relations. Geol. Soc. Am. Bull., 65, 1954.

Schaw D. M., Kudo A. M. A test of the discriminant function in the amphibolite problem. Mineralogical magazine, vol. 34, 1965.

Simonen A. Stratigraphy and sedimentation of the Svecofennidic, early Archean Supracrustal rocks in Sauthwestern Finland. Bull. de la Comm. de Finl., 1960, 1953.

Peltola E. On the black schists in the Outokumpu region in Easte Finland. Bull. de la Comm. de Finl., 192, 1960.

УДК [550.8 : 528] : 552.4(571.5)

Е. П. Миронюк, Б. К. Любимов, Э. Л. Магнушевский

ОПЫТ СРЕДНЕ- И КРУПНОМАСШТАБНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДОКЕМБРИЯ АЛДАНСКОГО ЩИТА

Современная геологическая съемка сопровождается сложным комплексом видов исследований, которые завершаются созданием геологической и некоторых специальных карт, являющихся важнейшим средством познания и призванных удовлетворить растущие потребности народного хозяйства. Применительно к задачам геологического картирования мы остановимся на главных вопросах общегеологической методики расчленения и корреляции раннедокембрийских метаморфических комплексов, не анализируя другие методы (геофизические, геохимические и т. п.), которые представляют для этих целей также немаловажное значение. При этом мы будем обосновываться на опыте работ на таком крупнейшем выходе докембрийских образований, как Алданский щит, и, следовательно, применительно к его геоморфологическим условиям.

Большинство основных приемов геологической съемки стратифицированных складчатых неметаморфизованных отложений и интрузивных образований находят свое применение при картировании регионально метаморфизованных и гранитизированных образований. Практика многолетних геологосъемочных работ на Алданском щите и в других районах выходов раннедокембрийских образований, подтвержденная геологическими картами разных масштабов, позволяет утверждать, что их расчленение может и должно производиться на стратиграфической основе. При этом необходимо учитывать, что, во-первых, здесь не применим биостратиграфический метод и это предъявляет особые требования к петрографии метаморфических пород, во-вторых, необходимо владеть методикой парагенетического анализа минеральных ассоциаций и, в-третьих, надо знать теорию и практику изучения явлений ультраметаморфизма *. Говоря более общими понятиями, можно сформулировать основной метод расчленения и корреляции регионально метаморфизованных и гранитизированных образований как комплексный структурно-петрографо-стратиграфический.

При выявлении и прослеживании границ геологических объектов прежде всего надо установить не только их объем, но возможность и необходимость выделения. Каждый из таких объектов может получать либо значение общего регионального признака (подразделения), либо местного признака, важного только в ограниченных условиях. К числу региональных геологических объектов относятся в основном стратиграфические подразделения, магматические и ультраметаморфические комплексы и их фазы, главные разрывные нарушения и т. д. Они подлежат обязательному опознаванию и выделению. Любое объединение таких объектов или изъятие их из легенды карты, при условии присутствия на данной территории, допускается только в исключительном случае. К числу местных могут быть отнесены петрографические фации, рудопроявления, выходы редких или важных в каком-то отношении пород и другие объекты, выделение которых определяется конкретной геоло-

* Особенно структурный анализ складок в мигматизированных толщах.

гической обстановкой каждого планшета съемки. Они не обладают региональным повсеместным распространением и могут не изображаться на некоторых картах каждой отдельной серии листов.

Основным результатом геологосъемочных работ является геологическая карта, отражающая возрастную последовательность самых разнообразных геологических объектов. Этот принцип возрастности важно применять на практике, так как при составлении карт метаморфических комплексов раннего докембрия существует опасность увлечения петрографическими особенностями горных пород, что превращает геологическую карту в чисто петрографическую. Вместе с тем детальные геологические карты метаморфических комплексов не мыслимы без значительной петрографической нагрузки, которой, к сожалению, пренебрегают многие исполнители.

Давно установлено, что метаморфические образования Алданского щита четко дифференцированы по составу, причем крупные группы пород в своем залегании определяются направлением кристаллизационной сланцеватости и, иногда, первичной дометаморфической полосчатости, что в целом придает им сложнопараллельное залегание.

Общий петрографический состав крупных стратиграфических подразделений — свит и подсвит — довольно контрастен и устанавливается вполне определенно. Однако проведение границ между ними при крупномасштабной съемке требует четкого и однозначного определения их признаков, а также признаков границ между более мелкими подразделениями, вплоть до границ маркирующего слоя (горизонта). Во многих случаях граница стратифицированных метаморфических пород не является однозначной. Например, в составе выделяемой на карте свиты, подсвиты с характерным, но разнообразным по составу парагенезом пород может быть установлена изменчивость конкретных петрографических разновидностей не только в пространстве, но и на глубину разреза (пример — альванарская свита). В таком случае границу можно провести по-разному: либо по последним в разрезе слоям мраморов, либо по совокупности устойчивой для маркирующего горизонта парагенетической ассоциации пород, включающей в разбираемом случае мраморы совместно с гранатовыми гнейсами. Очевидно, что картографически она будет изображена в разных местах. Все это требует установления и соблюдения однозначности отображения всех границ любых подразделений в пределах данной территории.

В практике различных исследователей бытует неправильная трактовка маркирующих слоев (горизонтов) *, что заставляет остановиться на этом понятии. Мы считаем, что маркирующим следует называть слой (горизонт), который либо фиксирует (маркирует) данный стратиграфический уровень, либо оттеняет дополнительные особенности складчатой структуры, которые не могут быть отображены иным путем и прослеживаются в поле на расстояние не менее 1 *см* в масштабе съемки. При этом важно картировать и изображать на карте не элементарный слой горных пород, как это сейчас делается очень часто, а совокупность элементарных слоев, парагенетически связанных между собой и образующих маркирующий горизонт. Это важно и в отношении корреляции. Так, если мрамор как элементарная единица характерен для разных маркирующих слоев, то этот слой, следовательно, не может быть использован для установления тех или иных коррелятивных связей или расчленения толщ. Но в парагенезисе мрамор + амфиболит он приобретает особое значение, так как четко приурочен к низам федоровской свиты, в то время как парагенезис мрамор + гранатовый гнейс, наоборот, — только к верхам этой же свиты. В случае такого отображения

* Не только выделенных самостоятельно в качестве таковых, но и в качестве границ (кровли, подошвы) стратиграфических подразделений.

маркирующих горизонтов мы получаем важный критерий корреляции. Все сказанное не исключает изображения на карте особым знаком выходов пород, не отвечающих указанному определению. Однако это будут уже не маркирующие слои (горизонты), а именно «выходы» таких-то пород, представляющие собой линзы мощностью не более десятков метров, протяженностью до сотен метров, распространенные неравномерно по разрезу.

При анализе и отображении стратиграфических границ следует обращать внимание на четкость признаков, отделяющих ультраметаморфические гранитоиды от вмещающих пород. Помимо требования однозначности проведения границ, это важно в связи с тем, что в процессе гранитизации нередко возникает новый, часто более сложный узор складчатых структур, вплоть до появления ложных несогласий, что обусловлено целым рядом причин (синкинематической кристаллизацией гранитоидов, их повышенной пластичностью, явлениями реоморфизма и т. п.).

Для выяснения геологических взаимоотношений крупных раннедокембрийских метаморфических комплексов, выделения групп, подгрупп и серий мы соприкасаемся с совершенно иным кругом вопросов, которые могут быть разрешены только на основе комплексного многоаспектного изучения особенностей геологического строения метаморфических пород с учетом особого характера границ между ними, которые исключительно редко бывают нормально стратиграфическими, а чаще всего тектоническими или магматически-ультраметаморфическими со сложными явлениями полиметаморфизма. На особенностях последних мы и остановимся.

В западной части Алданского щита выделено два крупных комплекса: олекмо-становой (верхнеархейский) и удоканский (нижнепротерозойский). В зоне сочленения, как это ни удивительно, оба комплекса залегают «согласно». Это согласное залегание заключается в полном азимутальном и угловом соответствии залегания обеих серий и широко распространенных здесь гранитоидов при дисгармоничном характере складчатых структур на разных глубинных уровнях. Все это приводит многих исследователей к мысли либо об одновозрастности этих серий, либо стратиграфическом несогласии между ними на основе структурных различий. Детальное изучение зоны сочленения позволяет представить себе эти соотношения следующим образом.

Комплекс метаморфических сланцев протерозоя формирует систему пологих складок с горизонтальным залеганием слоев в широких ядерных частях и содержит согласные и несогласные, пологосекущие тела гранитов биотитовых, двуслюдяных и лейкократовых (граниты III группы). В подошве этого комплекса залегают иные гранитоиды — граниты II группы, представленные массивными и гнейсовидными фациями биотитового, реже амфибол-биотитового состава, обладающие падением под толщу метаморфических сланцев, с которыми они имеют активные контакты. Эти контакты картируются легко и вначале грубо повторяют общий контур складчатой структуры протерозойского комплекса, проникая все далее в глубь последнего с севера на юг. Среди гранитоидов II группы в 1—4 *км* от их контакта с метаморфическими сланцами путем тщательного наблюдения выявлены гранитоиды I группы (гнейсовидные апогиперстеновые граниты), а среди них — реликты регрессивно измененных в условиях амфиболитовой фации архейских пород, распознаваемых по гранулитовым парагенезисам и содержащих в мигматитах «жильный материал», подобный гранитам I группы.

Установление такого контакта позволяет утверждать, что слои слюдяных сланцев и кварцитов ортуряхской и боруряхской свиты являются базальными в нижнепротерозойском комплексе и соответственно опровергает ошибочное мнение В. А. Кудрявцева о том, что в этом

комплексе ниже слюдяных сланцев залегает мощная (до 2500 *м*) толща диабазов (олондинская свита).

Таким образом, гранитоиды I группы в зоне сочленения как бы подстилают моноклинально падающее на запад пластообразное тело гранитов II группы, содержащих ксенолиты первых. Складчатые структуры этого уровня сложны и причудливы. Здесь наравне с узкими изоклинальными складками в зоне повышенной пластичности гранитизированного субстрата отмечаются сложные и простые купола, валы и т. п., формы, характерные для инфраструктуры раннепротерозойской складчатости этого района.

Учитывая подобные соотношения, мы относим гранитоиды II и III групп вместе с метаморфическим комплексом, «перекрывающим» гранитоиды II группы, к иной структурно-геологической группе (нижнему протерозою), чем гранулитовый комплекс (верхний архей). Все названные гранитоиды отличаются по минеральным парагенезисам и особенностям минерально-петрографического состава вполне уверенно. Не менее важно, что нижнепротерозойский метаморфический комплекс обнаруживает метаморфическую зональность, выражающуюся в том, что, по мере приближения к контакту с гранитоидами II группы, в метаморфических сланцах степень метаморфизма возрастает до амфиболитовой фации.

Учитывая комплекс проведенных наблюдений, можно интерпретировать такую границу, как залеченный стратиграфический контакт между двумя разновозрастными комплексами, такой контакт, у которого в процессе складчатости при условии подъема теплового потока происходила реомобилизация древних гранитоидов I группы. За счет материала этих гранитоидов возникли гранитоиды II группы в обстановке продолжительных соскладчатых движений, что привело к появлению среди них гнейсовидных фаций. В свою очередь, гранитоиды III группы представляют собой реоморфическую, мобильную часть гранитоидов II группы, аллохтонные части которой сосредоточены в максимальном удалении от зоны повторного гранитообразования. Это подтверждается одинаковым составом элементов-примесей в фациях II группы. Интересно отметить, что метаморфизм, связанный с таким гранитообразованием (плутонометаморфизм), накладывается на слабый региональный метаморфизм метаморфических сланцев протерозоя, приводя к сложному сочетанию метаморфических зон двух типов — Барроу и Бачан.

Такой тип границ между крупными структурными этажами, по-видимому, распространен на Алданском щите шире, чем мы это до сих пор знаем.

Выяснение первичного состава и происхождения исходного материала дометаморфических пород является не только теоретической, но и практической задачей, так как от этого зависит не только правильность выбора в качестве маркирующих слоев тех или иных пород, но и правильная интерпретация складчатых структур. Поэтому нельзя обходить вниманием этот вопрос и при геологосъемочных работах.

Главной особенностью раннедокембрийских пород изученной территории, претерпевших региональный метаморфизм гранулитовой фации, является полное отсутствие реликтов структур первоначальных пород, а имеющиеся на этот счет в литературе весьма скромные доказательства, по нашему мнению, связаны с конвергентностью некоторых структур.

Первые слабые реликты структур дометаморфических пород были нами встречены лишь в основных магматических породах амфиболитовой фации.

В то же время текстуры исходных пород вполне хорошо сохраняются даже в гранулитовых комплексах. Поэтому при выяснении первичной

природы метаморфических пород наибольшего внимания заслуживают геолого-стратиграфический, петрохимический и геохимический методы.

Детальное рассмотрение этих методов, как и углубленное доказательство происхождения метаморфических пород, является специальной задачей, а в настоящем сообщении мы хотим вкратце остановиться на некоторых важных аспектах геолого-стратиграфического метода. Под последним мы понимаем анализ текстур, контактов, геологического положения, стратиграфической последовательности и выявление характерных петрографических ассоциаций в сильно метаморфизованных породах.

В первую очередь следует отметить, что устойчивость по простиранию отдельных слоев, пачек, свит и серий находится в зависимости от их мощности. При этом устойчивость и выдержанность ассоциаций пород каждой пачки слоев определенного горизонта лучше устойчивости отдельного слоя, представленного конкретной петрографической разновидностью.

Устанавливается целый ряд типичных парагенезисов пород в составе дольно устойчивых и выдержанных на десятки километров пачек и горизонтов. И любое применение других методов к окончательной расшифровке происхождения метаморфических пород обязательно должно исходить из этих геологических закономерностей, являющихся достоверным материалом и реальным фактом. Любая типичная парагенетическая ассоциация петрографических разновидностей метаморфических пород требует перехода от анализа ее элементарной части к анализу всего парагенезиса и далее к синтезу результатов.

В качестве примеров таких естественных парагенетических ассоциаций приведем некоторые из них.

В низах федоровской свиты имеется устойчивый горизонт из пироксеновых, амфиболовых гнейсов, амфиболитов, мраморов и кальцифиров, там же в средней части свиты — мраморов, железных руд, амфиболовых и пироксен-амфиболовых гнейсов и кристаллических сланцев; в сутамской свите один из горизонтов сложен ассоциацией карбонатных пород, гранатовых, пироксеновых и графитовых гнейсов, в хайканской свите — гранатовыми, силлиманитовыми, пироксеновыми, графитовыми гнейсами и мраморами; в курбаликитской свите — амфиболитами, пириболитами, силлиманитовыми, гранатовыми и пироксеновыми гнейсами; в темулякистской свите — ортоамфиболитами, железистыми кварцитами, биотитовыми сланцами, и т. д.

Нам представляется, что строгая приуроченность и взаимосвязь *отдельных пород друг с другом в устойчивых по простиранию ассоциациях* объясняется особыми в каждом отдельном случае условиями первичного осадкообразования и обязана изучаться совместно. Если определение первичного состава пород со специфическим химическим составом (кварцитов, мраморов, силлиманитовых сланцев) в общем делается легко (первично-осадочные, хемогенные), то для большинства пород, химический состав которых не может быть определен однозначно в силу химической тождественности первично-магматических или первично-осадочных пород, окончательных выводов делать не приходится.

Примером, иллюстрирующим, что нам дает парагенетический анализ пород конкретного маркирующего горизонта, является анализ строения одного из горизонтов курультинской серии. Здесь в составе горизонта мощностью в среднем 300 *м* залегают слои простого состава или сложные пачки (от 1 до 80 *м* каждая) следующих пород (по составу и распространенности): пириболиты, амфиболиты, пироксен-амфиболовые гнейсы и кристаллические сланцы, гранатовые гнейсы, кварциты, а также линзы оливин- и магнетитсодержащих силлиманит-гранатовых сланцев. Пириболиты и амфиболиты обычно неясно- и грубополосчатые, массивные, либо гнейсовидные, часто однородные по составу, хотя

встречаются неоднородные — такситовые участки, особенно к краям слоев. Наблюдается несогласное дометаморфическое залегание маломощных тел этих пород среди пироксеновых гнейсов. Устанавливается, что многие слои этих пород обладают грубой дифференцированностью: *в верхней (иногда и нижней) части слоев они становятся пестрыми по* составу, текстурам, чем отличаются от более однообразной средней части того же слоя.

По простиранию такие слои быстро переходят в пироксеновые гнейсы. В однородных по составу слоях встречены оливин-амфибол-гиперстеновые породы. По отношению к расположенной ниже по разрезу свите гранатовых и силлиманитовых гнейсов этот горизонт залегает абсолютно согласно. Все это вместе с другими признаками геохимического характера позволяет нам считать описанные породы первично-вулканогенными, а связанные с ними кварциты и, возможно, высокоглиноземистые сланцы — продуктами хемогенного вулканогенно-осадочного процесса. Строение этого горизонта напоминает геосинклинальные офиолитовые тела и позволяет относить его к древнейшей аповулканогенной формации основных пород.

Особенности химического состава этих пород согласуются с этим выводом и часто указывают как на отсутствие для них сопоставимых осадочных эквивалентов, так и на химическое тождество с базальтами (но не со спилитами).

Таким образом, при выделении маркирующих горизонтов среди высоких метаморфических пород высоких ступеней метаморфизма рекомендуется широко использовать метод анализа естественных петрографических парагенезисов горных пород (петропарагенетический метод).

Большие возможности открываются для использования анализа ритмичности при расчленении и корреляции метаморфических толщ. В раннедокембрийских толщах нами отмечалось ритмичное строение не только в свитах (утукская, кюриканская, хайканская, федоровская, мордженская), но и в сериях (курультинская).

Своеобразие гранитообразования в сильно метаморфизованных толщах может иногда оказать помощь и при расчленении пород в условиях плохой обнаженности, а также при расшифровке «догранитных» структур в полях гранитизированных образований. Так, часто складчатые ультраметагенные гранитоиды имеют много общего с вмещающими породами, на месте и за счет которых они возникли. Так, гиперстеновые граниты залегают среди гиперстеновых пород, амфиболовые — среди амфиболовых, калишпат-гранатовые гранитоиды — среди гранатовых гнейсов и т. д. Избирательная устойчивость различных пород к процессам ультраметаморфизма позволяет иногда по скиалитам картировать складчатую структуру, например по пластам кварцитов, силлиманитовых гнейсов, пириболитов. Основываясь на принципе осадочно-вулканогенной природы рассматриваемых метаморфических пород архея и некоторых основных приемах выделения среди них геологических границ, изложенных ранее, можно перейти к отдельным вопросам методики составления геологической карты, региональной стратиграфической схемы.

Установление стратиграфических подразделений — свит, подсвит — можно проводить:

1. По господству определенных петрографических разновидностей среди взаимно перемежающегося сложнопараллельного сообщества пород метаморфического комплекса (его разреза). Так, по преобладанию в разрезе пород вполне определенного состава выделяются такие крупные части, как зверевская и кюриканская свиты (гранатовые гнейсы), федоровская и утукская (мраморы), иманграканская и нижнесуннагинская (пироксеновые гнейсы), нютская (биотитовые гнейсы) свиты *тарынахский горизонт (железистые кварциты) и т. п.*

2. По однообразной приуроченности некоторых петрографических групп к определенной части такого сообщества (например, кварцитов в верхнеалданской свите).

3. По закономерной взаимосвязи некоторых частных петрографических групп, которая не повторяется в других частях разреза метаморфического комплекса. Так, мраморы являются типичными представителями многих стратиграфических подразделений, например сутамской и федоровской свит. Однако петропарагенетические ассоциации с мраморами в каждой из свит различны: для федоровской — мраморы, амфиболовые и пироксеновые гнейсы, амфиболиты, а для сутамской — мраморы, гранатовые, графитовые, пироксеновые гнейсы, пириболиты и силлиманитовые сланцы.

Для каждого геологоструктурного района в рамках серий листов должен быть установлен перечень не только основных границ, подлежащих прослеживанию, но и интервалов стратиграфических подразделений. По нашим данным, предпочтительные мощности в пределах некоторых стратиграфических серий составляют для подсвит 1000 *м*, для горизонтов — 400 *м*.

Установленные закономерности строения серий метаморфических пород еще далеки от решения задачи их стратиграфии, ибо мы только подошли к этой задаче, которая позволит, при ее однозначном решении, составить геологическую карту. Стратиграфическое расчленение и составление геологической карты метаморфических образований немыслимы без использования структурно-тектонического метода, так как архейские суперкрустальные породы слагают сложную складчатую структуру, содержат много разрывных нарушений, большое количество разнообразных гранитоидов, преимущественно ультраметаморфогенного происхождения.

Следует отметить, что выделение крупных стратиграфических подразделений раннего докембрия в ранге групп или подгрупп представляет задачу, решаемую в значительной степени структурно-тектоническим методом. Но не менее важное значение имеет этот метод и при картировании любых ограниченных территорий.

Так, в поле развития пород курультинской серии в бассейне Олекмы (рис. 1) наблюдалась довольно сложная система мелких складок, при внимательном изучении которых было замечено, что они являются структурами очень высоких порядков, так как распространены на крыльях более крупных структур. Геологическая съемка подобных крыльев показывает, что они ведут себя довольно просто (в масштабе наших наблюдений), не взирая на указанную выше мелкую складчатость. В пределах изученных на протяжении 15 *км* крыльев не было обнаружено значительных усложнений в виде дополнительной складчатости близкого порядка, которая бы привела к повторению наиболее контрастных маркирующих слоев (горизонтов). Более того, при величине углов 40—65° вырисовывается ясная зависимость залегания таких слоев от рельефа. Вкрест простирания таких крыльев при моноклинальном залегании перемежающейся толщи метаморфических пород составлялась предварительная схема стратиграфии — последовательности залегания подсвит и свит. Дальнейшее наблюдение по простиранию такого крыла вскрывает некоторые особенности его строения. Так, в частности, было установлено, что иногда залегание крыльев заметно отличается по величине углов падения, никогда не снижаясь ниже 35°, что неизбежно вызывает увеличение в плане поля выхода маркирующих слоев. В равной степени отмечались значительные повышения углов падения до 80°, на фоне которых встречались вертикальные, а нередко и обратные залегания по отношению к общему направлению падения.

Можно констатировать, что такие «пропеллерные» изгибы крыльев являются частым явлением. Значение истинного залегания в конце кон-

цов определяется анализом всей структуры. Аккуратное использование двух источников позволяет придти к однозначному решению для определения истинного залегания слоев. Первый — это анализ залегания слоев в замках складок и второй — изучение последовательности залегания маркирующих слоев (горизонтов) на крыльях складок.

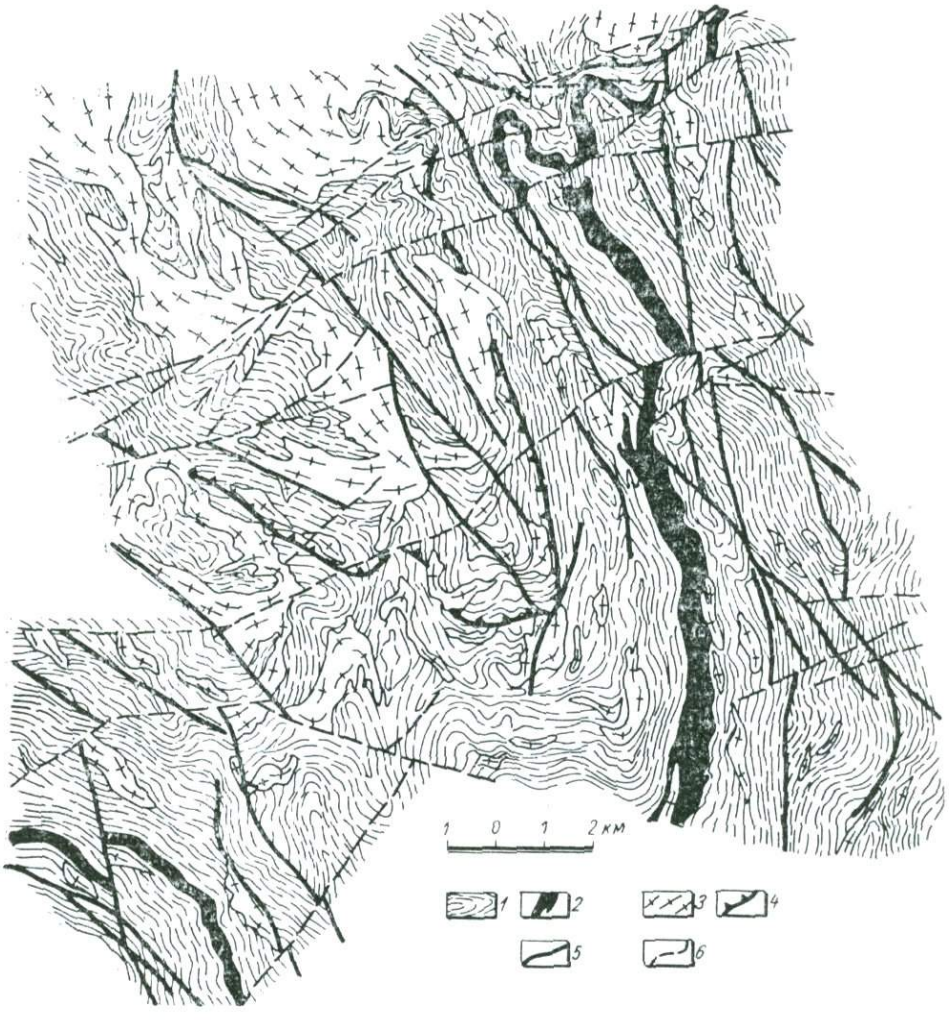


Рис. 1 Структурно-метаморфическая схема участка бассейна р. Олекмы (составили: Е. П. Миронюк, Б. К. Любимов, Э. Л. Магнушевский, 1967 г.)

1 — простирание складчатых структур; *2* — маркирующий горизонт курбаликитской свиты; *3* — гнейсо-граниты; *4* — изограда гиперстена (зубцы направлены в сторону амфиболитовой фации); *5* — основные позднеархейские разломы; *6* — некоторые протерозойские разломы.

Из приведенного примера следует, что все изученные метаморфические образования слагают призамковую часть крупной синформы с четко выраженным центриклинальным замыканием. Синформа имеет сложное строение и в пределах участка обладает простиранием оси в северо-северо-западном направлении (с погружением в этом же направлении) при размахе крыльев не более 15 *км*.

На юге территории отчетливо устанавливается замыкание слоев с падением на север, хотя противоположные крылья имеют одинаковое направление падения в западном и юго-западном направлениях. Это

позволяет судить об изоклинальном характере складки и однозначно устанавливает ее асимметричное синклинальное строение.

Обратившись к результатам предварительной схемы стратиграфии, которая нами составлялась вначале на юго-западном крыле синклинали, можно распознать и в дальнейшем тщательно проследить отдельные пачки совершенно идентичного петрографического состава и на восточном крыле. При этом совершенно отчетливо наблюдалось, что происходит повторение сходных пачек в предварительных стратиграфических схемах обоих крыльев, которое может быть только при опрокинутом залегании одного из них.

После выяснения залегания метаморфических пород, выявления границ, установления объема крупных петрографических групп, особенностей их строения, последовательности слоев по отдельным частным разрезам и составления в конце концов геологической карты можно приступить к созданию сводной стратиграфической колонки. Ее основой служат отдельные разрезы по наиболее представительным участкам района, по возможности непрерывные, наблюдаемые в коренных обнажениях. Если нет таких возможностей, все равно лучше иметь несколько опорных разрезов, составленных особенно тщательно на наиболее обнаженных участках. Анализируя все фактические данные о разрезе, особенностях строения и поведения по простиранию отдельных слоев, получаем материал для сводной стратиграфической колонки, которая является, таким образом, синтетической, учитывающей все петрографо-стратиграфические особенности метаморфических пород, выявленные в ходе работ на этой территории. Конкретные частные непрерывные разрезы должны дополнить сводный разрез, являясь достоверно установленным фактическим материалом.

Задача увязки отдельных разрезов в складчатой структуре и учет разрывных нарушений производятся общепринятыми методами структурной геологии с дифференцированным анализом плоскостных структур и текстур разного типа и генезиса.

Хорошо известен тезис, согласно которому степень метаморфизма не зависит от стратиграфического положения пород, но также не менее известно, что условия метаморфизма почти постоянно ставят в ряд доводов *при определении возраста метаморфических комплексов. Это* показывает всю сложность вопроса, и только привлечение к его решению всех геологов-съемщиков поможет установить истинные критерии и степень использования фактора метаморфизма при стратификации древнейших образований Земли, для их расчленения и корреляции.

Мы не будем рассматривать теоретические вопросы метаморфизма и методику анализа парагенетических минеральных ассоциаций, которые подробно освещены в специальных руководствах, а остановимся только на некоторых вопросах степени равномерности метаморфизма и устойчивости фаций рассматриваемого региона.

Непосредственно в поле, как в маршрутах, так и при ежедневном просмотре образцов, определялся возможно более точный петрографический состав горных пород. В качестве критического минерального парагенезиса (хорошо диагностируемой тройки), характеризующей гранулитовую фацию регионального метаморфизма, мы применяли Гип+Кв+Пл. Сразу же в поле определялось наличие или отсутствие этого парагенезиса по сравнению с парагенезисом Рог+Кв+Пл±Би, Рог+Пл±Би. Все это позволило уже при полевой камеральной обработке и составлении рабочей геологической карты нанести изограду появления пары Гип+Кв. Эта изограда, собственно изограда гиперстена, была принята за границу раздела амфиболитовой и гранулитовой фации метаморфизма. При этом было сделано одно допущение — в поле пород гранулитовой фации попали небольшие участки амфиболитовой фации, не меняющие принципиально существа выделяемой изограды,

являющейся, таким образом, границей раздела между породами, сложенными существенно гранулитовыми парагенезисами, с одной стороны, и амфиболитовыми парагенезисами — с другой. При камеральной обработке фации метаморфизма уточнялись обычной методикой парагенетического и минералогического анализа.

С внешней стороны этой изограды (см. рис. 1) практически отсутствуют выходы пород гранулитовой фации, там исключительно распространены равновесные парагенезисы амфиболитовой фации, являющиеся, учитывая их принадлежность к наиболее высокотемпературной силлиманит-альмандиновой субфации, по своим термодинамическим характеристикам смежными с гранулитовой. Наоборот, в поле гранулитовой фации неоднократно устанавливались выходы пород метаморфизованных и амфиболитовой фаций, граница которых точно не прослежена. Здесь наблюдается как переход пород одной фации в другую, осуществленный по простиранию слоя, так и перемежаемость фаций.

Перемежаемость фаций заключается в том, что в стратиграфическом комплексе пород, вкрест простирания его, гранулитовые минеральные ассоциации сменяются на расстоянии от десятков до сотен метров амфиболитовыми и затем снова появляются характерные гранулитовые ассоциации. Следует отметить, что при таком соотношении фаций, указывающем на их неустойчивость, мы не наблюдали отчетливых признаков соотношения критических минералов каждой ассоциации, что позволило бы говорить о направленности их взаимопереходов. В то же время кое-где отмечалось разрушение вышеописанных парагенезисов, которые мы связываем с регрессивным метаморфизмом позднеархейского этапа, приводящим к тому, что такие минералы, как гиперстен, салит, роговые обманки, замещались такими низкотемпературными минералами, как актинолит, зеленая и сине-зеленая роговая обманка, биотит, эпидот, мусковит, альбит.

Характер вновь образующихся парагенезисов указывает, что они возникли в термодинамических условиях эпидот-амфиболитовой и низкотемпературной субфаций амфиболитовой фации и, вероятно, сильно оторваны во времени от регионального метаморфизма, продукты которого наблюдаются в рассматриваемом суперкрустальном метаморфическом комплексе позднего архея.

Исключение представляет наблюдавшееся замещение пироксенов обыкновенной зеленой роговой обманкой, которое, как нам представляется, может быть обусловлено регрессивной стадией того же позднеархейского регионального метаморфизма. Помимо этого установлены явления раннепротерозойского приразломного диафтореза зеленосланцевой фации. Подобные соотношения не единичны, так как наблюдались нами и в бассейне Учура (рис. 2) и известны, по материалам Г. М. Друговой и Н. Г. Судовикова, в бассейне Алдана.

Перемежаемость фаций, а также тех субфаций, которые могли бы быть самостоятельными в рамках гранулитовой фации, возможно связана, с одной стороны, с неравномерным содержанием воды в регионально-метаморфизованных породах, а с другой — с дифференциальными послойными тектоническими подвижками в толще метаморфических пород. Оба эти фактора могли в результате привести к более крутым градиентам термодинамических параметров, при которых осуществляются метаморфические преобразования, чем это принимается при первом приближении к проблеме. Тем более, что термодинамические параметры, как это давно известно, определяются не только величинами геостатической нагрузки и регионального геотермического градиента, но и давлением паров воды, направленным односторонним давлением, местными вариациями теплового потока, связанного, в частности, с различиями энергетического значения отдельных метаморфических

реакций, изменением геохимического режима в процессе гранитизации и пр.

О реальности послойно дифференцированных движений среди метаморфических пород может свидетельствовать как то, что в толще *идентичного состава появляются по соседству слои с гранобластовой и* гранулитовой структурами, а в последних кварц обладает тектонитовым узором, так и избирательный характер деформаций в породах одного и того же состава.

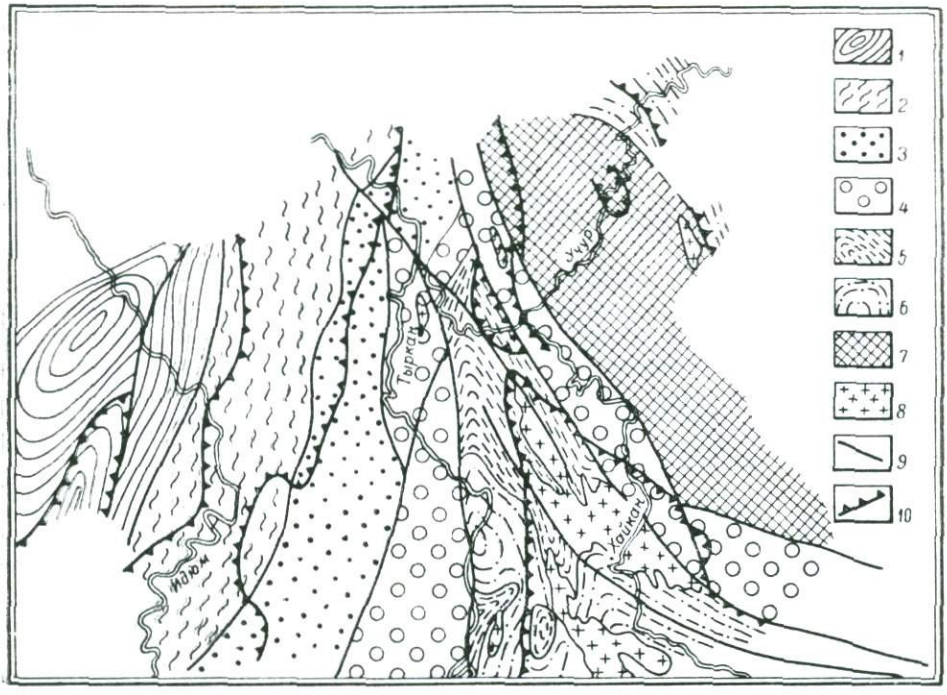


Рис. 2. Структурно-метаморфическая схема нижнеархейских пород левобережья среднего течения Учура (составил Е. П. Миронюк, 1964)

1 — кюриканская и сугамская свиты; *2* — альванарская свита; *3* — утукская свита; *4* — ивакская свита; *5* — амуликанская, худурская свиты; *6* — хатырыкская свита; *7* — верхнеалданская свита; *8* — ультраметаморфические гранитоиды; *9* — разрывные нарушения; *10* — изограда гиперстена (зубцы направлены в сторону амфиболитовой фации).

Помимо всех приведенных данных, указывающих на одновременность регионального метаморфизма в архейских породах, осуществлявшегося в смежных условиях гранулитовой и амфиболитовой фаций, свидетельствует еще одно крайне важное обстоятельство.

Из анализа пространственного размещения фаций вытекает, что менее метаморфизованные образования амфиболитовой фации залегают в общем стратиграфически выше, чем породы, метаморфизованные сильнее. Несмотря на то, что граница фаций полого сечет простирание маркирующих горизонтов, приводя к изменениям их состава в пределах минеральных парагенезисов указанных фаций, сказанное выше остается в силе. Можно отметить, что граница фаций ведет себя несколько более жестко, чем складчатые структуры, повторяя их особенности в более общей форме, которая в рассматриваемом случае определяется центриклинальным замыканием на юге территории как складчатой структуры, так и границы фаций. По всей вероятности, можно предпо-

лагать, что такой характер границ фаций связан с тем, что она окончательно установилась несколько позже главного этапа складчатости и, следовательно, завершение регионального метаморфизма относится к позднескладчатым процессам.

Значение полученных выводов велико, так как они свидетельствуют о принадлежности пород курультинской и олекминской серий к одному структурному этажу и помимо этого доказывают метаморфическую изменчивость состава одновозрастных пород, что должно учитываться при корреляции маркирующих горизонтов.

УДК (550.8 : 528.94) : 551.311.231

А. М. Цехомский

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И ПРИНЦИПЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Как известно, в понятиях, связанных с характеристикой кор выветривания, а также в вопросах, касающихся методов их изучения, в частности картирования кор, имеется много спорного. Не рассматривая существующие расхождения во взглядах на эти вопросы, попытаемся сформулировать главные задачи, которые, по нашему мнению, должны решаться в процессе регионального изучения кор выветривания, и основные принципы, которых следует придерживаться при картировании этих образований.

Кора выветривания получила свое название по исключительной роли в ее формировании процессов выветривания. Последние проявляются повсеместно, действуя в той или иной форме на все горные породы, находящиеся у поверхности Земли. Выветривание предшествует возникновению подавляющего большинства осадочных пород, включая огромное количество полезных ископаемых, прежде всего, железных и марганцовых руд, бокситов, каолинов, кварцевых песков, фосфоритов, россыпей различных ценных минералов и т. д.

Формирование кор выветривания, их тип и современное распространение зависят от трех основных факторов: состава горных пород, подвергавшихся выветриванию, климата и характера тектонических движений, происходивших как в эпоху развития кор, так и в последующие периоды геологической истории региона.

Состав пород субстрата и климат обусловливают главным образом геохимический тип и минеральный вид кор выветривания; явления, связанные с тектоникой (рельеф, трещиноватость пород), контролируют первоначальное развитие кор и современное их распространение.

Нами выделяются коры химического выветривания, смешанного генезиса и коры физического выветривания.

Наибольшее практическое значение и научный интерес представляют первые и вторые. Установлено, что интенсивное развитие кор происходило в определенные отрезки времени, когда этому способствовало наиболее благоприятное сочетание указанных выше факторов.

Для этих периодов — эпох корообразования характерны относительная тектоническая стабильность или дифференцированные движения небольшой амплитуды преимущественно положительного знака и соответствующий климат.

Современное распространение кор выветривания зависит в большой степени от направления последующих движений земной коры. При опускании территории они сохраняются в прогибах, где, будучи перекрыты более молодыми отложениями, не подвергаются эрозии. В процессе медленного поднятия района коры выветривания могут уцелеть в тектонических, карстовых и эрозионных депрессиях. При интенсивных поднятиях они обычно почти полностью разрушаются, сохраняясь, как правило, только в зонах дробления, где представляют линейные тела, распространяющиеся на большую глубину.

Основные задачи картирования кор выветривания. До сравнительно недавнего времени коры выветривания исследо-

вались преимущественно на ограниченных участках, в связи с поисками и разведкой полезных ископаемых. Сейчас сравнительно хорошо изучена геохимия процессов выветривания и относительно слабо — геологические особенности возникающих при этом образований.

Изучение кор выветривания на больших территориях — их геологическое картирование начато только в последние годы. В задачи его входит решение следующих основных вопросов.

1. Установление времени широкого развития мощных кор химического выветривания, условий их формирования, размещение различных геохимических типов, характера их связи с тектоническими движениями и палеорельефом.

2. Выявление состава, фациальных типов и условий существующего распределения осадочных образований, связанных парагенетически с корами выветривания, входящих в формации кор.

3. Выяснение генезиса, закономерностей размещения, возможного масштаба месторождений полезных ископаемых формации кор выветривания.

4. Определение вторичных поисковых признаков некоторых эндогенных полезных ископаемых — железные шляпы сульфидных месторождений, вторичные ореолы рассеяния рудных элементов, линейные коры, указывающие на контакты рудоносных жил и т. д.

Помимо указанных вопросов, материалы по корам выветривания важны также для проектирования инженерных сооружений, развития сельского, лесного хозяйства и дорожного строительства. Наконец, эти данные представляют исключительную ценность для выяснения физико-географической обстановки прошлых геологических периодов, включая климат и тектонику.

Принципы картирования. В зависимости от поставленных задач, имеющихся материалов и геологического строения района производится мелко-, средне-, крупномасштабное и детальное картирование кор выветривания. Большие сложности при выполнении таких работ возникают из-за крайне неравномерного распределения кор и, как правило, редкости их неразмытых профилей.

Материалы прошлых лет оказываются обычно недостаточно полными даже для общей характеристики типа кор выветривания. Все это вызывает необходимость при картировании последних выполнять значительный объем вспомогательных работ. Задача упрощается, если картирование кор производится параллельно с общей геологической съемкой, сопровождающейся бурением, горными и другими работами.

Что касается карт кор выветривания, то на основании имеющегося опыта можно считать наиболее целесообразным составление трех их типов: регистрационных, литолого-палеогеографических и литолого-геологических.

Регистрационные карты носят обзорный характер, составляются, как правило, в мелком масштабе и служат для показа широты развития кор выветривания, принадлежности их к тем или иным эпохам и с целью общей характеристики их геологических особенностей. Пункты, где установлены коры, наносятся в виде внемасштабных знаков и контуров участков установленного или предполагаемого их распространения.

Литолого-палеогеографические карты, как следует из самого названия, должны отражать прежде всего физико-географическую обстановку эпохи корообразования, что, учитывая фактический материал, дает возможность установить характер выветривания, общее распространение кор и сделать ряд важных практических выводов. Составляются они отдельно для каждой эпохи. Наиболее полно отвечают поставленным задачам такие карты при средне- и мелкомасштабных исследованиях.

Литолого-геологические (геологические) карты показывают существующие в настоящее время распространение, характер залегания и состав кор выветривания, а также продуктивность их в отношении полезных ископаемых. Эти карты составляются при крупномасштабном и детальном картировании. В процессе среднемасштабного, а тем более мелкомасштабного картирования их бывает возможно составить только для районов, где сравнительно хорошо сохранились коры выветривания, и при наличии достаточных данных изучения последних, равномерно распределенных по всей территории.

ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ПРИ КАРТИРОВАНИИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Рассмотрим этот вопрос применительно к мелкомасштабному и крупномасштабному картированию, являющемуся достаточно показательным для регионального изучения кор выветривания.

Мелкомасштабное картирование. Исследования, связанные с мелкомасштабным картированием кор выветривания, проводятся главным образом с целью их общей характеристики и получения материалов, необходимых для предварительной оценки перспектив больших территорий в отношении связанных с корами выветривания полезных ископаемых. Получаемые данные используются при выборе направления и площадей проведения работ, планируемых с целью поисков месторождений этих полезных ископаемых, и для решения основных вопросов региональной геологии и палеогеографии. Помимо непосредственного изучения кор в обнажениях, горных выработках и по керну буровых скважин, полевые работы должны заключаться в выполнении комплекса общих палеогеографических и геологических исследований. Особое внимание уделяется элементам тектоники, геоморфологии, в частности выделению поверхностей выравнивания. Изучаются также разрезы отложений местных депрессий, куда сносился материал при формировании и разрушении кор выветривания.

Как уже отмечалось, использование имеющихся литературных и фондовых данных по корам выветривания, а также результатов дополнительных тематических полевых исследований только в редких случаях позволяет составить геологическую карту кор. Чаще же приходится ограничиваться литолого-палеогеографической, а в ряде случаев и регистрационной картами.

При определении времени, для которого наиболее целесообразно построение литолого-палеогеографических карт, если оно четко не определяется интервалом возраста пород, подвергавшихся выветриванию, и отложений, перекрывающих толщу элювиальных образований, следует исходить из общих геологических данных. К последним относится прежде всего схема тектонического развития региона. Надо иметь в виду, что эпохи формирования мощных кор выветривания, а нередко и лучшая их сохранность от последующей денудации соответствуют границе между двумя циклами колебательных движений обычно второго или третьего порядков.

В такие переходные моменты от регрессий к нарастанию трансгрессий физико-географическая обстановка на какой-то период остается относительно стабильной, что облегчает ее расшифровку — установление областей размыва и рельефа поверхности суши. Изучение базальных отложений последующей трансгрессии, в состав которых входят переотложенные продукты выветривания, позволяет получить дополнительные сведения для суждения о типе кор, составе пород, подвергавшихся выветриванию, и обстановке корообразования.

Полевые исследования, выполняемые при региональном изучении кор выветривания, помимо общепринятых приемов, отличаются и не-

которой спецификой. Прежде всего следует иметь в виду, что в настоящее время наиболее надежные сведения, позволяющие судить о геохимическом типе кор выветривания, могут быть получены при изучении продуктов разложения магматических пород. Поэтому наряду с корами, развитыми на осадочных и метаморфических породах, важно иметь данные о корах выветривания гранитов, диабазов, габбро и т. д. К этому надо добавить, что единичные разрезы обычно еще не могут служить основанием для характеристики типа и размаха явлений выветривания. Достоверные выводы могут быть сделаны только в результате сопоставления данных по корам нескольких пунктов района при учете общих особенностей физико-географической обстановки той или иной эпохи и ландшафтных условий пункта наблюдений.

Описание разрезов, взятие образцов и проб для исследований производится по зонам кор выветривания. В полевых условиях эти зоны выделяются визуально в зависимости от изменения окраски, текстуры, структуры и минерального состава пород. Причем наиболее детально описывается и опробывается верхний горизонт коры выветривания, определяющий в основном геохимический тип и минеральный вид коры. В процессе изучения разрезов необходимо получение данных также о морфологии кор, положении их в рельефе и характере перекрывающих отложений.

Для наиболее важных пунктов наблюдаемых кор, помимо колонок и зарисовок обнажений, желательно составление геологических и геоморфологических карточек и профилей, показывающих условия залегания элювия, связь его с элементами рельефа и взаимоотношение с исходными и перекрывающими породами.

По всей мощности кор выветривания, а также от исходных и перекрывающих пород отбираются пробы (образцы) для микроскопических исследований и анализов. Кроме этого, от толщи перекрывающих осадков, а нередко и от пород субстрата берутся пробы для уточнения их возраста.

В зависимости от характера выветривавшихся пород производятся различные анализы, в число которых входят спектральные, механические, химические, а также термические и рентгеноструктурные исследования.

С целью оценки кор выветривания и осадочных пород, относящихся к формации этих кор, с точки зрения возможности использования как полезное ископаемое, берутся специальные пробы для дополнительных анализов и испытаний.

Очень важным для определения времени формирования и типа кор выветривания является изучение отложений, возникших в период формирования и разрушения кор. В методическом отношении эти исследования не представляют чего-либо оригинального, но они должны производиться с большой тщательностью, так как для установления типа, а тем более минерального вида кор необходимы минералы-индикаторы, многие из которых плохо выдерживают длительную транспортировку и в осадке представляют редкость.

Важным разделом изучения кор выветривания являются геохимические исследования. С их помощью выявляются детали условий происходившего выветривания, имевшее при этом место перераспределение элементов и возникновение новых минералов и их комплексов. Большие задачи перед геохимическими исследованиями возникают в связи с учетом концентрации и распределения энергии в различных типах и зонах кор выветривания, а также с оценкой миграционной способности возникающих при выветривании новых ассоциаций химических элементов. Для уточнения многих сторон указанных явлений перспективны математические методы, позволяющие количественно оценить роль геохимических процессов.

Важной, но в большинстве случаев достаточно сложной задачей картирования является установление границ распространения кор выветривания. При микромасштабных исследованиях полностью решить эту задачу удается только в исключительных случаях. Обычно же приходится довольствоваться выделением зон, имеющих благоприятные условия для формирования и сохранения кор выветривания, где наличие их доказано в нескольких пунктах. Получение материалов для установления таких границ значительно доступнее при крупномасштабном и детальном картировании, когда оно производится на сравнительно небольшой площади, выполняется параллельно с другими геологическими исследованиями и сопровождается необходимым объемом вспомогательных работ.

В результате мелкомасштабного картирования, как уже указывалось, составляется обычно литолого-палеогеографическая карта. Основой для показа кор выветривания в этом случае является схема геолого-геоморфологического районирования. В нее входят элементы тектоники и геоморфологии региона, климатическая зональность, направление движения материала, высвобождающегося при формировании и разрушении комплекса элювиальных образований. На этой схеме показывается также состав пород субстрата. Все элементы, составляющие основу карты, наносятся в виде знаков черного цвета.

Коры выветривания целесообразно показывать красками, причем цвет должен обозначать геохимический тип кор, а его густота — степень достоверности развития на данной площади элювиальных образований этого типа. Минеральный вид кор обычно обозначается буквами русского алфавита. Дополнительными знаками указывается месторождение полезных ископаемых, обнажения, где изучалась кора выветривания, ее мощность, значение границ, показанных на карте.

Крупномасштабное картирование. Оно проводится на площадях установленного развития кор выветривания, на которых имеются перспективы обнаружения месторождений полезных ископаемых, или где необходимо решить какие-либо иные задачи, связанные, например, с поисками эндогенных месторождений, с установлением степени надежности основания для строительства гидротехнических сооружений и т. д.

В зависимости от цели картирования обязательно намечаются основные вопросы, на которые в процессе работы обращается особое внимание и которые в значительной степени определяют программу исследований. В общем случае они должны включать детальное изучение геологии, условий распространения кор и подробный анализ продуктов выветривания различных пород субстрата. Если целью картирования является выявление месторождений полезных ископаемых, то в результате его проведения дается предварительная оценка изученной территории в отношении этих месторождений, выделяются участки для детального картирования кор выветривания и приводится обоснование направления поисков, необходимость применения специальных методов, а в некоторых случаях производится и подсчет прогнозных запасов полезных ископаемых.

Характер полевых наблюдений и лабораторных исследований при крупномасштабном картировании мало чем отличается от таковых, выполняемых при мелкомасштабном картировании, но они проводятся в большом объеме и должны быть подчинены основной задаче всей работы.

К этому следует добавить, что для оценки района в отношении полезных ископаемых при крупномасштабной съемке во многих случаях недостаточно общего оконтуривания площадей развития элювиальных образований. Важно установить положение отдельных разновидностей элювия и различных зон профиля выветривания, с которыми

связаны те или иные месторождения. Это требует дополнительного увеличения объема вспомогательных работ.

Из специальных исследований, которые ведутся при крупномасштабном картировании, позволяющих, в частности, более полно решить задачу выделения границ распространения кор, помимо горных выработок и буровых скважин, наиболее эффективными в настоящее время являются геофизические и геохимические.

В итоге крупномасштабного картирования составляется обычно геолого-литологическая карта. На ней должно быть отражено площадное развитие кор, их стратиграфия, геоморфологический и геохимический типы, минеральный состав (вид), связь с современным рельефом и тектоническими структурами. Должна быть показана глубина залегания кор и состав перекрывающих пород. На карте указываются все установленные коры. Если же по тем или иным причинам это невозможно, то ограничиваются только теми из них, которые представляют в данном случае наибольший практический и научный интерес.

При наличии нескольких уровней выветривания иногда целесообразно составлять две и даже более геологические карты. Их необходимо сопровождать сводной стратиграфической колонкой и разрезами, из которых должно следовать пространственное положение кор и их взаимоотношение с перекрывающими отложениями. Часто оказывается необходимым и возможным дополнительно давать карты изомощностей элювиальных образований и прогноза полезных ископаемых.

Среднемасштабное и детальное картирование

Результаты, получаемые при среднемасштабном картировании, в зависимости от геологического строения района и объема выполненных работ, могут быть близки к результатам мелко- или крупномасштабного картирования. В данном случае имеется в виду как полнота решения стоящих задач, так и тип составляемых карт. Наиболее характерным следует считать случай, когда на всю заснятую территорию составляется литолого-палеогеографическая карта, а для сравнительно хорошо изученных участков — дополнительно литолого-геологическая.

Что же касается детальных исследований кор выветривания, то они являются элементом поисков и разведок месторождений тех или иных полезных ископаемых или одним из методов подробного изучения характера изменения пород, обусловленного выветриванием, важного для других целей. Совершенно естественно, что в зависимости от поставленных задач такие исследования существенно различаются между собой как в полевую стадию, так и в камеральную.

ВЫВОДЫ

Картирование кор выветривания является сравнительно новым направлением региональных геологических исследований. Но в настоящее время уже очевидно его большое значение для характеристики многих регионов. Материал по корам выветривания большого количества отдельных пунктов, получаемый в процессе таких исследований, систематизируется и увязывается в масштабе карт с учетом общих геологических и физико-географических условий, контролирующих возникновение и сохранность элювиальных образований. Это дает возможность раскрыть многие закономерности формирования и пространственного размещения месторождений полезных ископаемых, связанных с корами выветривания, и получить данные для решения иных практических задач, а также ряда геологических и палеогеографических вопросов. Этим

объясняется все возрастающий интерес к подобным работам, проявляемый представителями различных научных направлений и отраслей народного хозяйства.

Рассмотренные выше принципы картирования кор выветривания и основные элементы методики этих исследований в дальнейшем должны быть усовершенствованы. Однако уже сейчас имеющийся опыт позволяет рекомендовать их широкое использование при изучении кор выветривания в различных по геологическому строению регионах. Это является весьма важным, так как применение единой методики будет способствовать полному использованию получаемых при картировании материалов для составления сводных карт и решения региональных вопросов, совершенно необходимых, в частности, для выявления перспектив больших территорий в отношении месторождений гипергенных полезных ископаемых.

УДК (550.8 : 528.94) : 551.311.231

П. Ф. Ли, В. С. Певзнер

ОСОБЕННОСТИ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ РАЙОНОВ РАЗВИТИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Коры выветривания являются самостоятельными геологическими объектами с особыми генетическими, геологическими и металлогеническими признаками. В ряде районов нашей страны проводятся детальные исследования кор выветривания. Однако методические положения по геологической съемке районов развития кор выветривания не разработаны и в литературе не освещены. Этот доклад — результат специальных исследований, проводимых по рассматриваемому вопросу в отделе методики геологосъемочных работ ВСЕГЕИ.

Коры выветривания широко распространены на территории Советского Союза и приурочены, как правило, к обнаженным или погребенным складчатым комплексам (основаниям платформ). В разрезах покровного и четвертичного комплексов они практически отсутствуют.

Можно выделить два достоверных цикла корообразования: 1) мезокайнозойский, связанный с молодыми платформами типа Западно-Сибирской; 2) палеозойский, связанный с древними платформами типа Русской. Кроме того, существуют плохо изученные продукты древнейших циклов корообразования (протерозойских и архейских).

В пределах каждого цикла корообразования выделяются этапы, обособляющиеся по мере покрытия кор выветривания осадками и залегающие смещенно в пространстве на поверхности платформ.

В обнаженном виде коры выветривания сохранились на реликтах поверхностей выравнивания (типа пенепленов) — на пологих ровных склонах, террасовидных участках в основании возвышений и на пологих межгорных понижениях. Отсутствуют они на всех резко выраженных положительных элементах рельефа, в руслах и прирусловых частях речных долин. Практический интерес в настоящее время представляют коры выветривания, обнаженные или залегающие неглубоко под перекрывающими отложениями. В пределах этих площадей они сохранились преимущественно на возвышенных холмистых равнинах с абсолютными отметками не более +500 *м*.

Задача геологической съемки районов развития кор выветривания заключается в составлении геологической карты, отражающей закономерности современного распространения кор выветривания и их возраст. Естественно, это достигается изучением распространения кор выветривания, зональности строения разреза, минерального и химического состава элювиальных пород.

Методические принципы геологической съемки кор выветривания определяются на основе учета их генетических и геологических особенностей. Главными из них являются: залегание элювиальных пород на месте своего образования в прямой связи с исходными породами, зональное строение разрезов кор выветривания и зональное площадное распространение их в соответствии с характером рельефа. Крупномасштабная съемка кор выветривания непосредственно решает задачи прогнозирования и поисков элювиальных полезных ископаемых в пределах отдельных районов и месторождений.

В связи с тем, что коры выветривания формируются, главным образом, на поверхности складчатых комплексов (фундаментов платформ), их геологическая съемка представляет собой, по существу, съемку элювиальных пород, залегающих прямо на этих обнаженных и погребенных поверхностях. Геологическое строение кор выветривания обусловлено составом, тектонической структурой и геоморфологией субстрата, современным характером рельефа и условиями сохранения элювиальных пород. Эти особенности определяют специфический подход к изучению кор выветривания при геологической съемке.

При геологической съемке кор выветривания необходимо исходить из следующих основных положений:

1) конкретным исходным породам отвечает определенный набор элювиальных пород, т. е. определенные типоморфные разрезы;

2) *коры выветривания приурочены к пенепленизированным поверхностям* с более или менее выдержанными гипсометрическими уровнями;

3) элювиальные горизонты распределены согласно формам современного или погребенного рельефа.

Геологическая съемка районов развития кор выветривания состоит из двух видов работ: съемки исходных пород и съемки элювиальных образований. Геологической съемке предшествует анализ и обобщение материалов прежних лет и изучение рельефа по аэрофотоснимкам и топографическим картам с целью выделения участков, благоприятных для сохранения кор выветривания. Там, где коры выветривания погребены, необходимо предварительно по буровым и геофизическим материалам составить карту рельефа фундамента.

Способы геологической съемки районов открытого и закрытого типов существенно отличаются. Там, где коры выветривания практически обнажены, съемка их производится при помощи геологических маршрутов в сочетании с геофизическими работами. При съемке особо следует обратить внимание на все повышенные, плоские, слабо холмистые участки рельефа, к которым обычно приурочены коры выветривания. Для районов распространения кор выветривания погребенного типа геологическая съемка производится с применением буровых и геофизических работ.

Геоморфологические наблюдения — один из существенных элементов геологической съемки кор выветривания, так как их площадное распространение связано с характером рельефа. Особое значение приобретает выявление пенепленизированных поверхностей, к которым, главным образом, приурочены коры выветривания. При съемке кор выветривания необходимо установить верхние и нижние уровни их распространения в рельефе, *так как для каждой территории характерны близкие* гипсометрические уровни их распространения.

На геоморфологической карте Адильбекского района Чидерты-Экибастузской полосы ультраосновных пород (рисунок) ясно видны разобщенные участки поверхностей выравнивания, занимающих промежуточное гипсометрическое положение между горными выступами и эрозионными впадинами. На реликтах поверхностей выравнивания коры выветривания сохранились почти полностью.

Стратиграфическое изучение кор выветривания обычными биостратиграфическими и литостратиграфическими методами невозможно. Поэтому изучение возраста кор выветривания производится по косвенным признакам, включающим геоморфологические и геотектонические условия их залегания и положение в разрезе коррелирующихся отложений. Эта задача решается в региональном аспекте на основании анализа палеогеографических условий, взаимоотношений с перекрывающими породами и принадлежности субстрата к определенному типу платформ. Известно, что коры выветривания образуются только в этапы региональных устойчивых перерывов, и их образование прекращается по ме-

Геоморфологическая карта Адильбекского района (Казахстан). Составил П. Ф. Лиц, 1968.

Реликты древних поверхностей выравнивания. *1* — слегка холмистая поверхность, подвергшаяся слабому размыву, с абс. отметками от +305 до 330 *м*. Кора выветривания серпентинитов сохранилась почти полностью; *2* — холмистая поверхность, подвергшаяся сильному размыву, абс. отметки от +285 до 335 *м*. Кора выветривания серпентинитов сохранилась частично: выщелоченные и дезинтегрированные продукты серпентинитов; *3* — пологие склоны поверхности выравнивания, покрытые маломощным делювиальным покровом, абс. отметки от +285 до +325 *м*. В коре выветривания сохранились только дезинтегрированные серпентиниты. *Структурно-денудационные горные выступы (сопки, гряды сопок, мелкие хребты).* *4* — вершинные части горных выступов (сопки), лишенные коры выветривания, на кварцитах акдымской серии верхнего протерозоя, абс. отметки от +320 до +407 *м*; *5* — крутые склоны горных выступов, покрытые делювиальным покровом, на кварцитах акдымской серии верхнего протерозоя, абс. отметки от +290 до +370 *м*. Сохранились только дезинтегрированные элювиальные породы. *Эрозионные впадины.* *6* — ровное дно унаследованной чашеобразной впадины, выполненной палеозойскими эффузивными и песчано-глинистыми породами жарсорской толщи O_3, абс. отметки от +285 до +300 *м*, кора выветривания сильно размыта; *7* — ровное дно чашеобразной впадины на серпентинитовом поле, абс. отметки от +325 до +330 *м*, элювий — дезинтегрированный серпентинит; *8* — пологие склоны впадин, образованные плоскостным смывом, абс. отметки от +300 до +330 *м*; элювий — продукты дезинтеграции серпентинитов и кварцитов акдымской серии. *Аккумулятивная равнина.* *9* — пологие склоны низинной равнины, образованные на разных породах плоскостным смывом и делювиально-пролювиальными накоплениями, абс. отметки от +320 *м* и ниже. Коры выветривания сильно размыты. *10* — мелкие, периодически действующие речные русла. *I* — гора Адильбек; *II* — гора Жыланды; *III* — поверхность выравнивания Первого Адильбекского участка; *IV* — поверхность выравнивания Второго Адильбекского участка; *V* — поверхность выравнивания Третьего Адильбекского (Va — Южный, Vб — Северный) участка; *VI* — поверхность выравнивания Четвертого Адильбекского участка; *VII* — Восточно-Адильбекская впадина; *VIII* — Северо-Адильбекская впадина; *IX* — Южно-Жыландинская впадина

ре перекрытия осадками. В этапы тектонической активизации субстрата коры выветривания, развитые на суше, размываются, и в бассейне накапливаются мощные осадочные толщи.

При стратиграфическом изучении кор выветривания важно разграничение двух последовательных явлений: элювиогенеза (образования элювиальных продуктов) и стратигенеза (перекрытия элювиальных продуктов осадками) — это условия для сохранения кор выветривания.

При крупномасштабной геологической съемке необходимо проводить массовое лабораторное изучение элювиальных пород, что требует применения в первую очередь наиболее доступных и быстрых методов. Основная задача лабораторных исследований заключается в получении подробной химико-минеральной характеристики элювиальных пород для детального расчленения и корреляции разрезов кор выветривания, выяснения возможного состава исходных пород, а также качественной и количественной оценки элювиальных пород как полезных ископаемых. Кроме того, изучение химического и минерального состава позволяет выяснить характер и направление физико-химических изменений при корообразовании. Для решения этих задач, наряду с детальным макроскопическим описанием, используются лабораторные методы (петрографический, гранулометрия, термография, рентгеноструктурный и рентгенография, элект-

ронография и электронная микроскопия, спектральный и химический, изучение физических свойств).

Большое значение имеет поведение химических компонентов при элювиогенезе. Изучение их ведется тремя способами: 1) с помощью относительного изменения средних концентраций; 2) методами, учитывающими баланс вещества при корообразовании и коэффициенты подвижности; 3) корреляционный анализ (в том числе многократная корреляция по методу Ю. К. Буркова).

Геологические карты районов развития кор выветривания необходимо составлять по единой легенде, способом последовательного наложенного изображения различных признаков, а именно: исходных пород, кор выветривания, покровных образований.

Геологические карты районов развития кор выветривания должны быть двух типов: первый — отображение кор выветривания на обычных геологических картах, второй — составление специальных геологических карт кор выветривания. На обычных геологических картах горизонты кор выветривания должны входить в легенду наравне с подразделениями других горных пород. Детально показать состав и строение кор выветривания на таких картах нельзя, но можно показать общее распространение кор выветривания на фоне исходных пород и в связи с характером рельефа. На специальных геологических картах районов развития кор выветривания должны быть отображены следующие геологические признаки: геологическое строение субстрата, рельеф, состав коры выветривания по горизонтам (зонам), мощность и возрастные соотношения кор выветривания, покровные отложения. На крупномасштабных картах должны быть показаны все зонально-литологические подразделения кор выветривания разных исходных пород. Карты, составленные по легендам такого типа, просты и наглядны.

Исходные породы даются на таких картах в значковых изображениях, а коры выветривания — цветом. Для этого каждому элювиальному породообразующему минералу присваивается определенный цвет.

Геологический субстрат должен в основных чертах соответствовать содержанию общей геологической карты. При этом конкретное отображение должны получить петрографические типы исходных пород, по которым образуются сходные по составу продукты выветривания. Одновременно на геологическом фоне должны быть показаны крупные складчатые структуры и разрывные нарушения. Существенное значение имеет обоснованный показ контактов карбонатных и вмещающих их пород, ибо с зонами этих контактов могут быть связаны месторождения бокситов и силикатного никеля.

Рельеф — обязательный элемент карт кор выветривания.

Состав кор выветривания показывается очень детально по каждому петрографическому типу исходных пород, образующих сходные типоморфные разрезы; показываются все элювиальные литологические подразделения.

Возрастные соотношения кор выветривания могут быть установлены при изучении обширных территорий, где фундамент, покрытый корой выветривания, находится как в обнаженном, так и в погребенном состоянии. Оконтуривание разными линиями границ распространения покровных отложений дает общую схему распространения кор выветривания разных этапов в пределах определенных циклов корообразования.

Металлогенические особенности кор выветривания определяются, в основном, составом исходных пород и условиями элювиогенеза (климат, гидрогеохимический характер среды). Металлогеническая специализация при крупномасштабной геологической съемке кор выветривания определяется ведущими полезными ископаемыми района. Металлогенические карты составляются на основе геологических карт кор вы-

ветривания. При этом отражение получают следующие элементы: 1) литолого-стратиграфические подразделения исходных пород; 2) тектонические разломы; 3) элювиальные горизонты.

На картах оконтуриваются основные элювиальные рудоносные формации: магнезито-никеленосная или вермикулитоносная ультраосновных пород, каолинитовая изверженных пород кислого и среднего состава, эффузивно-осадочных пород, кремнистая (окремненных и кремнистых пород), железорудная и др. Внутри формаций оконтуриваются рудные подформации и выделяются рудные площади, где показываются: линии изомощностей, распределение полезных химических компонентов, места находок полезных ископаемых и др.

Такие карты достаточно наглядны, дают ясное представление о характере и масштабах рудоносности. Они могут содействовать правильному направлению поисковых и поисково-разведочных работ и прогнозированию полезных ископаемых.

УДК 550.8 : 528.94

В. В. Кочегура, Л. Е. Шолпо

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЯЗКОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ТЕРРАС И МОРЕН ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

При проведении крупномасштабных геологических съемок, особенно в районах широкого распространения четвертичных образований, возникает необходимость определения возраста этих образований. Поскольку существующие методы не всегда позволяют решить эту задачу, нами сделана попытка разработать палеомагнитный метод определения возраста четвертичных террас и морен. Этот метод в принципе пригоден только для тех образований, которые сформировались не более 700 000 лет назад, т. е. после последней инверсии магнитного поля Земли.

Сущность метода заключается в следующем. Хорошо известно, что под действием магнитного поля Земли практически любая горная порода приобретает вязкую остаточную намагниченность I_{rv}, которая направлена по этому полю и увеличивается с возрастом породы. Экспериментально установлено, что закономерность роста вязкой остаточной намагниченности подчиняется уравнению

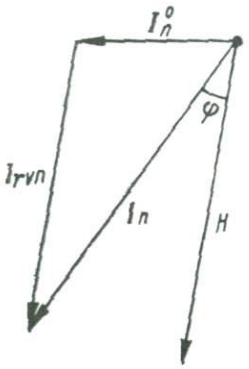
$$\sqrt{I_{rvn}} = \sqrt{I_r^0 + S_n \cdot \lg t} \ ,$$

где I_{rvn} — естественная вязкая остаточная намагниченность; I_r^0 — намагниченность, возникающая за единицу времени; S_n — постоянный коэффициент и t — время действия поля, т. е. возраст породы. Таким образом, зная I_{rvn}, I_r^0 и S_n, не трудно вычислить возраст породы. Эта возможность была выявлена давно, но лишь в последнее время, в результате развития техники палеомагнитных исследований, появилась возможность приступить к практическому осуществлению этого метода. Впервые этот метод стал применять Б. В. Гусев (1967), разработавший методику, основанную на массовых измерениях вектора естественной остаточной намагниченности I_n серии галек, содержащихся в осадочных образованиях, и статистическом подсчете их суммарного вектора $\bar{I}_{rv}$, направленного по магнитному полю Земли. Предложенная им методика позволяет производить относительную возрастную корреляцию расположенных в одном районе террас, содержащих гальку приблизительно одинакового состава.

Нами применялась другая методика, которая в принципе позволяет по каждой изученной гальке определять возраст исследуемого объекта. Естественная остаточная намагниченность гальки I_n представляет собой сумму векторов I_n^0 и I_{rvn} (рисунок). Обычно I_n^0 — это очень стабильная часть первичной намагниченности породы, а I_{rvn} — естественная вязкая намагниченность, направленная по магнитному полю Земли H. Так как вязкая составляющая намагниченности I_n обычно гораздо менее стабильна, применяя к галькам методы магнитной чистки (в переменном магнитном поле или температурой), можно избавиться от вязкой намагниченности и определить направление первичной намагниченности I_n^0 (величина первичной намагниченности во время магнитной чистки немного уменьшается). Зная величину I_n и направления H и I_n^0, не трудно определить и величину I_{rvn}, решая векторный треугольник (рисунок). Величины I_r^0 и S_n могут быть определены в лабо-

ратории по экспериментальным кривым роста вязкой намагниченности в данной гальке. При этом в экспериментально полученные параметры вводятся поправки, позволяющие учесть разницу между величиной геомагнитного поля в месте отбора галек и в лаборатории, а также между температурой, при которой производился эксперимент, и среднегодовой температурой в месте отбора. В результате мы получим все параметры, необходимые для вычисления возраста исследуемого объекта по приведенной выше формуле.

Работа по этой методике распадается на два этапа. Первый этап — полевой, во время которого необходимо очень тщательно сориентировать и отобрать гальки из исследуемых объектов и с большой точностью измерить величину и направление их естественной остаточной намагниченности. Здесь же производится первичная отбраковка отобранных галек. Для дальнейших экспериментов сохраняются лишь те из них, у которых достаточно велика магнитная восприимчивость $\varkappa$, а направление вектора I_n по отношению к геомагнитному полю благоприятно для применения к ним методов магнитной чистки ($\varkappa > 1000 \cdot 10^{-3}$ СГС, $40° < \varphi < 100°$).



Векторная схема образования естественной остаточной намагниченности галек.

На следующем, лабораторном этапе исследований, во-первых, для каждой гальки снимается зависимость роста I_{TV} от времени действия поля и, во-вторых, по результатам магнитной чистки определяется направление первичной намагниченности I_n^0. Более подробно методика как полевых, так и лабораторных исследований уже была нами описана (Кочегура, Шолпо, 1969), и мы не будем на ней останавливаться.

Этот метод был нами опробован на нескольких геологических объектах, в качестве которых выбраны четвертичные террасы и морены Енисея. Наиболее молодой из объектов — I надпойменная терраса Енисея (обн. 12) изучалась в районе Игарки. По имеющимся радиоуглеродным определениям, ее возраст—от 7 до 10 тыс. лет. Другим объектом явился галечник II надпойменной террасы (обн. 10), образцы из которой отбирались в устье р. Нижняя Тунгуска. В изученном обнажении представлены верхние горизонты террасы, возраст которых, по данным радиоуглеродного метода, определяется от 25 до 35 тыс. лет. Третий, наиболее древний объект — средняя морена бахтинского оледенения. По сопоставлению этого оледенения с геохронологической шкалой Европы ее возраст определен в пределах 175—225 тыс. лет. При выборе объектов консультировались с геологом ВСЕГЕИ В. А. Зубаковым, внесшим большой вклад в их изучение. Они являются одними из наиболее хорошо датированных и перекрывают достаточно широкий диапазон времени.

В таблице приведены результаты определения возраста этих объектов палеомагнитным методом, полученные осреднением данных по группе n галек из каждого объекта.

Таблица

Возраст t (тыс. лет)	Обн. 12 (n=9)	Обн. 10 (n=15)	Обн. 4 (n=14)
Миним. . .	4	9	87
Средн. . .	10	19	190
Макс. . . .	25	41	420

Как видно из таблицы, средние значения возраста, полученные палеомагнитным методом, достаточно хорошо совпадают с действительным возрастом этих образований, но погрешность определений превышает пределы возраста, установленные другими методами. Одной из причин этого является то,

что по исходной формуле мы получаем не возраст непосредственно, а его логарифм. Поэтому, несмотря на то что $\lg t$ определен нами с погрешностью всего лишь 3—4%, при пересчете на возраст t эта погрешность значительно увеличивается. Для того чтобы точность датировки этих объектов палеомагнитным методом была сопоставимой с имеющимися данными об их возрасте, погрешность определения $\lg t$ необходимо уменьшить примерно в два раза. Какие имеются для этого возможности?

Первый путь — увеличение количества изученных образцов. Так, на обн. 10 после отбраковки изучено и включено в осреднение 15 образцов, при этом погрешность определения $\lg t$ составила 3,3%. Нетрудно показать, что, увеличив количество образцов до 30, при той же точности индивидуальных определений мы получим погрешность $\lg t$ порядка 1,0—1,5%. Но так как в осреднение после отбраковки включается обычно немногим более трети первоначально отобранных и измеренных галек, этот наиболее простой путь довольно трудоемок.

Второй путь — повышение точности определений возраста по каждой отдельной гальке. Так как все эксперименты проводились нами очень тщательно, возможность такого повышения точности без существенного изменения методики работ очень невелика. Поэтому нами в настоящее время разрабатываются другие способы повышения точности данного метода.

В результате теоретических и экспериментальных исследований магнитных свойств горных пород, в том числе вязкой намагниченности и закономерностей ее роста, выявлены новые возможности, которые позволяют помочь в решении этой задачи. В частности, выяснено, что можно более точно экстраполировать рост вязкой намагниченности за тот интервал времени, который мы можем наблюдать в лаборатории. Расчеты показывают, что у части образцов скорость роста вязкой намагниченности может быть нелинейной по отношению к $\lg t$, что, по всей вероятности, является одной из причин разброса индивидуальных определений по одному и тому же объекту. С помощью разработанного во ВСЕГЕИ метода коэрцитивных спектров выявлена возможность более точно рассчитать ход кривой вязкого намагничивания и повысить таким образом как точность индивидуальных определений, так и общую точность определения возраста геологических объектов.

Разрабатывается еще одна модификация метода, которая опирается на закономерную связь роста вязкой намагниченности с ее естественным спадом в отсутствие внешнего магнитного поля. По времени спада вязкой намагниченности можно определить и время ее роста, т. е. возраст породы. Но так как эти времена имеют один порядок, для получения результата за доступный в эксперименте интервал времени необходимо ускорить процессы спада вязкой намагниченности. Для этого пользуются методикой ускорения процесса путем повышения температуры, при которой происходит спад вязкой намагниченности.

Предполагается, что два последних способа, находящихся еще в стадии разработки, при использовании их параллельно с основным, рассмотренным выше методом или в дополнение к нему позволят существенно повысить точность определений возраста четвертичных геологических образований. Но и без них основной метод, как показывают результаты его опробования на хорошо датированных четвертичных террасах и моренах Енисея, позволяет получить достаточно надежные возрастные определения, особенно если немного повысить точность индивидуальных определений и увеличить количество изученных образцов до 25—30. Излишне говорить о значимости палеомагнитного метода для тех четвертичных геологических образований, к которым неприменимо радиоуглеродное датирование (возраст более 50 тыс. лет) и в которых отсутствует ископаемая флора и фауна.

Немного об использовании метода в практике геологосъемочных работ. Для его применения необходимо освоить достаточно сложный комплекс полевых и лабораторных исследований, который может быть выполнен лишь квалифицированным специалистом геофизиком. Поэтому нет смысла проводить эти работы самостоятельно каждой геологосъемочной партией, а наиболее рационально поручить их выполнение специализированной геофизической партии или лаборатории, обслуживающей одновременно несколько геологосъемочных партий.

ЛИТЕРАТУРА

Гусев Б. В. и др. Магнетизм пород траповой формации западной части Сибирской платформы. Тр. НИИГА, т. 152, 1967.

Кочегура В. В., Шолпо Л. Е. Определение возраста четвертичных террас и морен палеомагнитным методом. Изв. АН СССР, серия геол., № 7, 1969.

УДК 551.4 : 51

Ю. М. Миханков

О СИСТЕМЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ РЕЛЬЕФА

Существование связи между определенными геологическими обстановками, благоприятными для образования полезных ископаемых, и рельефом, который является косвенным выражением многих факторов контроля, несомненно. Поиски такой связи предполагают разработку системы существенных признаков рельефа, которые могли бы представлять значительную часть информации о перспективных площадях и наряду с другими признаками являться критериями прогноза.

С точки зрения принципиальной возможности применения геоморфологических исследований для прогнозирования перспективных площадей могут быть поставлены следующие задачи: 1) формализация геоморфологических понятий с последующей обработкой и установлением удельного веса различных признаков для различных объектов при решении научных и практических вопросов прогнозирования; 2) кодирование главных (морфометрических, генетических, возрастных) и дополнительных признаков рельефа; 3) обработка, в соответствии с кодом, геоморфологической информации в районах с различными полезными ископаемыми; 4) использование методов математической статистики и теории вероятности для установления коэффициентов корреляции различных сочетаний признаков рельефа с геологическими обстановками нахождения полезных ископаемых и с последующим использованием этих коэффициентов для выделения и оценки перспективных участков.

Решение этих задач позволит внедрить в геоморфологию непротиворечивые описательные математические методы и приведет к построению геоморфологических моделей, отражающих существо объекта некоторой системой логических понятий. При этом в первую очередь рассмотрению подлежат признаки, заключенные в известных и достаточно широко апробированных геоморфологических классификациях.

В принципе все имеющиеся классификации рельефа основаны на выделении единиц, каждая из которых содержит более или менее полный набор признаков. В простом случае при установлении набора признаков, присущих объекту, могут быть выделены два крайних состояния признака — его наличие или отсутствие.

В начальной стадии этой работы неизбежно возникают трудности, связанные, прежде всего, с неясным определением понятия «геоморфологический признак». Применительно к геоморфологическим объектам, в первую очередь выделяются три группы признаков в соответствии с тремя основными категориями геоморфологии — морфометрическими особенностями *, генезисом рельефа и его возрастом. Морфометрические признаки, непосредственно наблюдаемые, в большинстве случаев

* Это понятие в данном случае аналогично понятию «морфологические особенности»; в последнее время широкое развитие получают методы морфометрического анализа, применение которых приводит к получению абстрактных категорий, не являющихся результатом непосредственного наблюдения. Тем не менее, «морфометрия», на наш взгляд, наиболее точный термин, выражающий существо работы геоморфолога в поле, когда наблюдения и измерения приводят к синтезу сведений, дающему суждения об остальных категориях рельефа.

являются собственно диагностическими и потому могут быть отнесены к группе признаков 1-го рода. Генетические и возрастные признаки рельефа, охватывающие, в основном, область косвенных наблюдений и выводов, формально относятся к группе признаков 2-го рода.

Нередко, однако, генетические признаки являются и собственно диагностическими, поскольку морфометрический (морфологический) анализ, необходимый для суждения о генезисе объекта, представляет собой «короткую цепь». Например, такие формы рельефа, как долина, бархан, дюна, вулкан, имеют морфометрические показатели, однозначно свидетельствующие о происхождении данных форм. Можно, вероятно, говорить о том, что все простые формы рельефа обладают генетическими признаками 1-го рода, в то время как сложные, полигенетические формы могут быть распознаны только путем анализа наблюдений. Некоторые генетические понятия являются настолько устоявшимися, что нет смысла начинать с их морфометрической характеристики, чтобы прийти к генетическому определению.

Геоморфолог при своей работе (в поле, над аэрофотоснимками, картами и т. д.) обычно имеет дело с некоторыми сечениями объектов, хотя в принципе все геоморфологические объекты являются объемными. В связи с этим можно выделить три главные морфометрические характеристики: положительная или отрицательная формы рельефа, их высоты и углы наклона. Внутри этих характеристик имеются понятия прямой (линии с нулевой кривизной), а также выпуклых и вогнутых кривых. Кроме этого, могут быть введены понятия непрерывности форм, разрывности форм и наличия особых точек (точек излома).

Следует учесть, однако, что некоторые из названных характеристик, являющихся на первый взгляд простейшими, практически часто оказываются неопределимыми. Очевидно, например, что каждая форма рельефа положительна относительно сопряженной с ней отрицательной и наоборот. Здесь, по-видимому, можно использовать понятие базисной поверхности как абстрактной разделительной линии между положительными и отрицательными формами рельефа. Эта линия может быть избрана на заранее заданной площади произвольно; ее положение может меняться в зависимости от цели геоморфологических исследований и, соответственно, набора изучаемых объектов.

При цифровом кодировании двух классификаций рельефа (по легенде к геоморфологическим картам, составленной во ВСЕГЕИ, и легенде Н. В. Башениной) в качестве переменных признаков взяты:

X_1 (процесс)

1 — эндогенный
2 — экзогенный

X_2 (направление процесса)

1 — денудация
2 — аккумуляция
0 — неопределенное

X_3 (генезис) (генетические поверхности)

1 — созданные разрывными нарушениями
2 — созданные растущими складчатыми структурами
3 — созданные сочетанием складчатых и разрывных движений
4 — созданные излияниями лав
5 — созданные эксплозионными процессами
6 — созданные экструзивными процессами
7 — созданные различными вулканическими процессами
8 — структурно-денадуционные, предопределенные древними складчатыми структурами
9 — препарировки пластовых структур
10 — препарировки складчатых структур
11 — препарировки тектонических контактов
12 — препарировки интрузивных тел
13 — эрозионные
14 — денудационно-эрозионные
15 — денудационные
16 — комплексной денудации (поверхности выравнивания, педимент)
17 — абразионные
18 — денудационно-абразионные
19 — экзарационные
20 — денудационно-экзарационные
21 — дефляционные
22 — речные
23 — озерные

24 — морские
25 — ледниковые
26 — созданные водно-ледниковыми процессами
27 — озерно-ледниковые
28 — созданные временными потоками
29 — эоловые
30 — смешанные речные и морские
31 — смешанные речные и пролювиальные
32 — абразионно-аккумулятивные (для дна акваторий)
33 — созданные подводными оползнями
34 — гравитационные
35 — мерзлотные и солифлюкционные
36 — карстово-суффозионные
37 — техногенные

X_4 (форма сечения)

1 — выпуклая, не имеющая точек излома
2 — выпуклая, имеющая точки излома
3 — вогнутая, не имеющая точек излома
4 — вогнутая, имеющая точки излома
5 — прямая, не имеющая точек излома
6 — прямая, имеющая точки излома
0 — неправильная

X_5 (форма плана)

1 — вытянутая, не имеющая точек излома
2 — вытянутая, имеющая точки излома
3 — овальная, не имеющая точек излома
4 — овальная, имеющая точки излома
5 — изометричная, не имеющая точек излома
6 — изометричная, имеющая точки излома
7 — неправильная, не имеющая точек излома
8 — неправильная, имеющая точки излома

X_6 (породы)

1 — осадочные
2 — вулканогенные
3 — интрузивные
4 — метаморфические
5 — дайки и жилы
0 — различные

X_7 (действие процесса)

1 — действующий процесс
2 — затухший процесс
0 — неопределенный процесс

Эти признаки положены в основу кодирования всех перечисленных в классификациях форм рельефа; последние содержат в себе как морфометрические (конкретные), так и генетические (абстрактные) характеристики. Возрастные градации не вошли в код, поскольку их определение возможно только при работе с фактическим геоморфологическим материалом.

Предварительное кодирование классификаций показало, что без введения переменной X_3 (генезис) многие формы рельефа не обладают отличительными признаками, что исключает дальнейшую обработку кода. В связи с этим следует несколько более подробно остановиться на понятии «генетическое определение рельефа» и попытаться оценить его значение.

В настоящее время мы часто имеем дело с неустойчивыми, иногда противоречивыми генетическими суждениями. У геологов, например, имеется мнение о том, что неоднородность и нестабильность геологических построений может быть преодолена путем разработки точных описательных методов. Эта крайняя точка зрения вообще отвергает генетический подход; считается, что для получения объективной и точной информации о содержании, месте проявления и сущности геологических явлений этот подход неприемлем.

Возникает вопрос — являются ли генетические категории в геоморфологии абстрактными? С точки зрения формальной — да, поскольку различные генетические связи не вытекают (подобно функциональным морфометрическим связям) из опыта, а являются определенным логическим извлечением.

Казалось бы, что если генетическое определение опирается на описание (морфологию), а это описание само представляется в виде некоторых функциональных связей, то генетическое определение не содержит ничего сверх данного в описании и поэтому можно отказаться от генетических определений как не строгих и не нужных для практических задач, которые в состоянии решать геоморфология. Однако это не так. Генетическое определение, особенно в геоморфологии, представляет собой наиболее важную часть суждения о рельефе и даже будучи не всегда точным или совсем неверным заставляет искать функцио-

нальные морфологические связи для своего подтверждения или отрицания.

В сущности элементарные признаки, на основе которых происходит выделение геоморфологических объектов, это различные геометрические, геологические, физические, географические и другие признаки. Каждая из этих наук обладает своими методами исследования, и все эти методы пригодны и для геоморфологического. Но для того, чтобы диагностика рельефа была геоморфологической, необходимо не только определение этих свойств, но и выявление их связей.

Избранная система признаков, которая, конечно, является далеко не полной и может удовлетворять лишь самой начальной стадии работы, состоит из геологических (X_1, X_6), физических (X_2, X_7), геометрических (X_4, X_5) признаков. И только один признак X_3 является собственно геоморфологическим, поскольку он предстает уже как генетическое суждение.

Основная трудность подбора признаков рельефа заключается в их конвергенции, т. е. в сходстве многих признаков у объектов, возникших заведомо различными способами. Путь преодоления конвергенции состоит в совершенствовании диагностических средств геоморфологии, в расширении групп и числа признаков различных по происхождению форм, в оценке диапазонов конвергентности различных генетических категорий. Этот путь неизбежно ведет к переосмысливанию многих фактов и, возможно, их обесцениванию, поскольку описание нередко составлено на основе одностороннего истолкования конвергентных признаков. На этом пути для диагностики рельефа особое значение имеет увеличение удельной роли измеряемых признаков, введение числовых характеристик рельефообразующих факторов, привлечение статистических, вероятностных и эвристических методов оценки информативности данных.

Представляется, что здесь нет необходимости полностью приводить код обеих классификаций. Достаточно отметить, что они закодированы без изменения, с выделением форм рельефа внутри крупных групп. Пример кодирования приведен в табл. 1.

После кодирования классификаций произведена предварительная оценка информативности признаков по каждой группе форм рельефа. Оценка выражается дробью, где числитель показывает количество изменений признаков каждой переменной X_i, а знаменатель — количество форм в каждой группе. Сумма этих дробей дает приблизительную оценку информативности избранных признаков для данной классификации в целом, а число, выражающее степень информативности, будет изменяться от 0 до 1. Пример подсчета приводится в табл. 2.

В результате подсчета оценка информативности признаков дает:

1) по легенде ВСЕГЕИ: X_1 — 0,177; X_2 — 0,266; X_3 — 0,452; X_4 — 0,532; X_5 — 0,629; X_6 — 0,355; X_7 — 0,242 или по степени информативности: $X_5 > X_4 > X_3 > X_6 > X_7 > X_2 > X_1$;

2) по легенде Н. В. Башениной: X_1 — 0,109; X_2 — 0,200; X_3 — 0,273; X_4 — 0,473; X_5 — 0,555; X_6 — 0,182; X_7 — 0,145 или по степени информативности: $X_5 > X_4 > X_3 > X_2 > X_6 > X_7 > X_1$.

Сравнение признаков форм рельефа по обеим классификациям показывает, что наиболее информативными являются форма плана, форма сечения и генезис.

Следует, однако, еще раз отметить, что эта первая попытка кодирования двух геоморфологических классификаций ни в коем случае не может претендовать на окончательность выводов. Здесь проведена лишь самая грубая оценка каждого из выделенных признаков в отдельности, а не их сочетаний. При дальнейшей обработке сочетаний различных признаков на ЭВМ оценка их информативности может измениться.

Таблица 1

Вулканогенные (по легенде ВСЕГЕИ)	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Вулкан действующий	1	2	7	1	7	2	1
Вулкан потухший	1	2	7	1	7	2	2
Маар, воронка взрыва	1	0	5	3	5	2	2
Кратер действующего вулкана	1	0	7	3	3	2	1
Кратер потухшего вулкана	1	0	7	3	3	2	1
Паразитический конус	1	2	7	2	3	2	2
Экструзивный купол	1	2	6	1	7	2	2
Лавовый поток, покров	1	2	4	5	7	2	2
Грязевой вулкан действующий	1	2	5	1	3	1	1
Грязевой поток недействующий	1	2	5	1	3	1	2
Флювиальные (по легенде Н. В. Башениной)							
Поверхности террас	2	0	22	5	1	0	2
Прирусловые валы	2	2	22	1	5	1	1
Прирусловые отмели	2	2	22	5	1	7	1
Сухие русла	2	1	13	3	1	0	2
Пороги в коренных породах русла	2	1	13	2	8	0	1
Участки резкого перегиба продольного профиля реки, выпуклые	2	1	13	1	5	0	1
Участки резкого перегиба продольного профиля реки, вогнутые	2	1	13	3	5	0	1
Останцы обтекания	2	1	22	1	3	0	2
Овраги задернованные	2	1	13	4	2	0	2
Овраги растущие	2	1	13	4	2	0	1

С точки зрения задач геологической съемки предварительная оценка обособленных признаков также имеет смысл, поскольку перед геологом-съемщиком нередко встает вопрос о том, какие именно особенности рельефа подлежат описанию и изучению в первую очередь. Кроме того, эта оценка позволяет сделать некоторые методические выводы, которые пока также следует рассматривать лишь как предварительные.

Таблица 2

№ п/п	Признаки						
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1	2	1	13	4	2	0	2
2	2	1	14	3	5	0	2
3	2	2	22	2	1	1	2
4	2	2	31	1	1	1	2
5	2	1	13	2	8	0	2
6	2	1	13	6	8	0	2
7	2	1	13	2	2	0	2
Σ	1/7	2/7	4/7	5/7	4/7	2/7	1/7

1. Объем информации о внешних свойствах и генетическом содержании геоморфологических объектов в процессе геологической съемки определяется выявлением различных значений семи главных признаков рельефа и их возможных сочетаний; для полной характеристики рельефа в пределах площади исследований необходимо введение возрастного признака.

2. Предварительная оценка показывает, что наиболее существенными признаками являются морфометрические (морфологические) — форма плана и форма сечения. В связи с этим первостепенное значение имеет тщательное выявление особенностей плановых очертаний форм

рельефа на аэрофотоснимках, а также инструментальное их профилирование в поле для детального выяснения формы сечения.

3. Поскольку районы проведения геологической съемки м-ба 1 : 50 000 характеризуются достаточной однородностью геоморфологического строения, в каждом из них имеется принципиальная возможность применения системы оценок для выявления картировочной значимости геоморфологических данных и, соответственно, углубленного изучения признаков.

Однако в дальнейшем, еще до перехода к выделению и кодированию признаков рельефа конкретных территорий, перед геоморфологией стоит задача точного и непротиворечивого определения таких фундаментальных понятий, как генезис и возраст рельефа. Кроме того, на основе набора максимального количества однозначных признаков, необходимо найти способ количественного описания морфологических категорий.

УДК (550.4+549) : 553.068.41

Н. А. Цыкункова

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЗОН ОКИСЛЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПОИСКОВЫМИ ЦЕЛЯМИ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Поверхностные выходы сульфидных месторождений обычно подвергаются значительным изменениям, связанным с окислением сульфидных минералов и образованием новых, более устойчивых в гипергенных условиях минеральных форм.

Восстановление первичного состава руд по зоне окисления, содержащей остатки неокисленных сульфидов или типоморфных продуктов непосредственного их замещения, не вызывает особых затруднений. Однако и в этом случае необходимо тщательное изучение продуктов окисления, так как устойчивость различных сульфидных минералов и их производных в зоне гипергенеза далеко не одинакова. Наиболее часто в зонах окисления встречаются реликты пирита и, реже, галенита, в то время как сульфидные минералы цинка, меди, молибдена и других элементов могут быть в значительной степени выщелочены. Гораздо сложнее обстоит дело с интерпретацией зон окисления, освобожденных не только от первичных сульфидов, но и от характерных вторичных минералов-индикаторов. Такие глубоко проработанные зоны окисления (железные шляпы), как правило, состоят из различных модификаций окислов и гидроокислов железа и марганца, кремнезема и сложных алюмосиликатов. Эти образования по внешнему виду бывают трудно отличимы от аналогичных скоплений в коре выветривания, не связанных с сульфидным оруденением. Изучение минерального состава и особенно геохимические исследования гипергенных образований подобного типа могут дать наиболее ценные сведения об их происхождении.

Минералогические наблюдения начинаются с визуального изучения особенностей морфологического строения и состава зоны окисления в естественных условиях (осмотр обнажений, различных горных выработок, отвалов и керна скважин и пр.). Одновременно, для уточнения и детализации результатов визуального наблюдения, отбираются образцы и пробы, характеризующие состав зоны окисления.

В процессе визуального изучения гипергенных новообразований прежде всего отмечаются чисто внешние их особенности: окраска, блеск, относительный удельный вес, твердость, характер текстур и структур.

Яркая окраска (желтая, зеленая, синяя, голубая, красная) присуща многим минералам зоны окисления, но не является устойчивым диагностическим признаком. Очень часто из-за маскирующего действия гидроокислов железа и марганца она теряется. Кроме того, цвета различных по составу минералов часто сходны. Так, например, свинцовые минералы платтнерит (PbO_2) и коронодит ($PbO \cdot MnO_2$) совершенно не отличимы от широко распространенных в зонах окисления гидроокислов Mn, то же относится и к медному минералу делафосситу ($CuFeO_2$), в результате чего эти минералы нередко пропускаются.

Вторичные рудные минералы часто обладают сильным алмазовидным блеском, большим удельным весом и сравнительно низкой твердостью.

Очень важную роль в реконструкции зоны окисления играет изучение текстур и структур гипергенных образований (табл. 1). В этом

Таблица 1

Классификация текстурных признаков лимонитов и других гипергенных образований

Генетические типы	Группы		Разновидности
Замещения	Плотные		Массивная, лаковая, вкрапленная, зональная, полосчатая, лучистая, петельчатая, решетчатая, сетчатая, нитевидная, мозаичная
	Диспергированные		Структуры: охристая, мелкочешуйчатая
Выщелачивания	Каркасные	Ящичные	Грубоящичная, тонкоящичная, кливажно-ящичная, пирамидально-ящичная, тригонально-ящичная, прямоугольно-ящичная, разорванно-ящичная, у-образная, ящично-контурная, ящично-спайная
		Губковые	Сотовая, коксовая, шлаковая, клетчатой губки, губково-петельчатая
	Пористые		Ячеистая, тонкопористая, щелевидная, пещеристая, ноздреватая, кавернозная
Переотложения	Натечные		Сталактитовая, гроздевидная, почковидная, колломорфно-зональная, корковая, скорлуповатая, пузырчатая, сферолитовая
	Кристаллические		Структуры: радиально-лучистая, сноповая, друзовая, дендритовидная, ритмично-зональная
	Диспергированные		Структуры: сажистая, землистая, мучнистая

отношении большое значение имеет выявление типоморфных продуктов псевдоморфного замещения сульфидных минералов, наследующих их строение и элементный состав. Особое внимание следует уделять рыхлым тонкодисперсным образованиям, широко представленным в зоне окисления, в составе которых часто присутствуют минеральные охры индикаторного значения. Большой практический интерес представляет обнаружение в железных шляпах лимонитов с характерными ящичными текстурами выщелачивания, геометрический рисунок которых можно увязать с абрисом или характером спайности выщелоченных сульфидов. Кроме того, в таких лимонитах можно обнаружить переотложенные в виде прожилков, вкраплений или кристаллических щеток и натечных образований на стенках пустот вторичные рудные минералы-индикаторы. Для их предварительной диагностики в полевых условиях выполняются простейшие микрохимические реакции на главные элементы рудообразующих минералов (Pb, Zn, S и т. п.).

Все эти исследования позволяют ориентировочно выявить минеральные ассоциации, определить преобладающую форму соединений

(карбонаты, сульфаты) и установить взаимоотношения между отдельными минералами и их ассоциациями. На основании этих данных можно составить предварительное представление о характере сульфидных руд и особенностях формирования зоны окисления.

Окончательное решение этих вопросов связано с тщательными исследованиями образцов и проб в стационарных условиях с привлечением различных лабораторных методов. Эти исследования проводятся в определенной последовательности.

Все штуфные и рыхлые образцы и пробы прежде всего просматриваются под бинокулярной лупой. Это позволяет уточнить детали взаимоотношений между минералами, текстурно-структурные особенности их строения и более точно определить физические свойства отдельных минералов. В сомнительных случаях минералы извлекаются из образца и исследуются с помощью микрохимических реакций и в иммерсионных препаратах для установления оптических констант. Полезно также выполнять определения pH суспензий минералов, которые, кроме дополнительного диагностического значения, дают ориентировочное представление об условиях среды, в которой они образовались.

Микроскопическое изучение окисленных руд проводится в шлифах. Удобнее изготовлять комбинированные прозрачно-полированные препараты, в которых можно выявить мельчайшие остатки сульфидов, заместившие их вторичные минералы и их взаимоотношения. Для уточнения отдельных минералов также используются иммерсионные препараты или сплавы.

Большое значение в установлении связи железных шляп с сульфидным оруденением и оценки вероятного состава руд имеют бурые железняки и рыхлые тонкодисперсные минеральные агрегаты. В этом случае обнаружение и диагностика типоморфных минералов-индикаторов бывает сильно затруднена. Изучение таких образцов и проб требует специальной их подготовки, которая сводится к максимальному разделению материала по крупности зерна и физическим свойствам минералов. Эти операции осуществляются в определенной последовательности (схема).

Обработанные таким образом пробы подвергаются минералогическому изучению и в зависимости от характера материала различным лабораторным исследованиям — спектральному и термическому анализам, при необходимости — рентгеноструктурному анализу и электродиализу. Последний выполняется для лимонитов, гидроокислов Mn и тонкодисперсных образований с высоким содержанием рудных элементов с целью определения формы их вхождения в состав этих образований.

В результате минералогических исследований можно выделить три основные группы минералов-индикаторов, представленных в обобщенном виде на табл. 2:

1. Простые — содержащие один какой-либо рудный элемент и являющиеся наиболее характерными и распространенными минералами-индикаторами гипогенных минералов этого металла.

2. Сложные — в состав которых входят два или более рудных компонента. Эти минералы-индикаторы указывают на сложный состав первичных руд, а с учетом геохимических данных на характер соподчинения рудных компонентов.

3. Минералы, широко развитые в зонах окисления различных по составу руд и особенно в железных шляпах, индикаторное значение которых заключается в содержании рудных элементов в качестве примесей (лимониты, гидроокислы Mn и т. д.).

Геохимические исследования преследуют цель выяснения состава рудогенных элементов, характера их распределения в новообразованиях зоны окисления и определения возможного состава главных и второстепенных компонентов руд. Эти задачи решаются на основе интер-

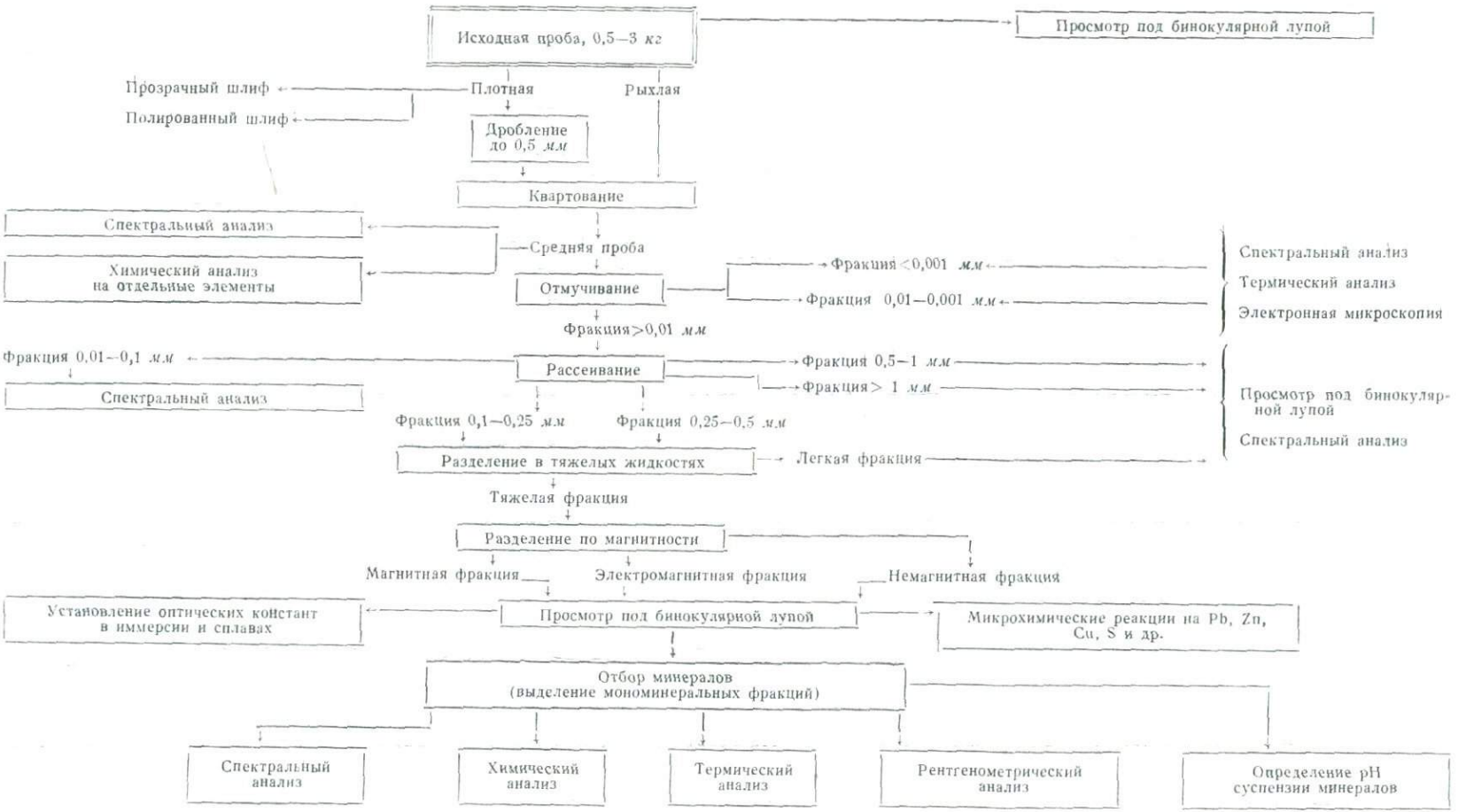
Таблица 2

Минералы-индикаторы зоны окисления

Элементы	Простые минералы		Сложные минералы						Группы минералов с характерными элементами-примесями
	распространенные	мало распространенные	Pb	Zn	Cu	As	Sb	Mo	
Pb	Церуссит, ярозит, коронадит, пироморфит	Англезит, платтнерит, ванадинит	—	$4(PbZn)O \cdot V_2O_5 \cdot H_2O$	$2PbCuO \cdot SO_3 H_2O$ $PbO \cdot CuO \cdot Fe_2O_3 \cdot 2SO_3 \cdot 4H_2O$	$PbFe_3[AsO_4][SO_4][OH]_6$ $Pb_5(AsO_4)_3Cl$	$2PbO \cdot Sb_2O_5 \cdot nH_2O$	$PbMO_4$	Лимониты, гидроокислы Mn
Zn	Смитсонит, монгеймит, каламин, соконит	Госсларит, гетеролит	Деклуазит	—	$5ZnCuO \cdot 2CO_2 \cdot 3H_2O$	$4ZnO \cdot As_2O_5 \cdot H_2O$	—	—	Гидроокислы Mn, глины
Cu	Малахит, азурит, хризоколла	Cu-самородная, куприт, халькантит, брошантит, делафоссит, атакамит	Линарит, биверит	Аурихальцит	—	$4CuO \cdot As_2O_5 \cdot H_2O$	—	—	Глины, кремнезем, гидроокислы Mn
As	Скородит	Арсеполит, фармаколит	Беданит, миметезит	Адамин	Оливенит	—	—	—	Лимониты
Sb	Серванти	Стибиоконит	Биндгеймит	—	—	—	—	—	То же

Mo	Повеллит, молибдит		Вульфенит	—	—	—	—	—	" "
Bi	Бисмутит, базовисмутит	Бисмит	—	—	—	—	—	—	Лимониты, арсенаты
Ag	Керарргирит	Ag (самородное) Ag-ярозит	—	—	—	—	—	—	Ярозит, гидроокислы Mn
Au	—	Au (самородное)	—	—	—	—	—	—	Каолин, глины, гидроокислы Mn
Cd	—	—	—	—	—	—	—	—	Карбонаты Zn, гидроокислы Mn, глины
Sn	—	—	—	—	—	—	—	—	Лимониты
Ge	—	—	—	—	—	—	—	—	Гидроокислы Mn, кремнезем
Tl	—	—	—	—	—	—	—	—	Гидроокислы Mn

Схема последовательности изучения окисленных руд в камеральный период



претации аналитических данных. Для выяснения состава и распространения рудообразующих элементов на участке выхода железной шляпы проводится детальное опробование продуктов окисления и непосредственно вмещающих их измененных пород.

При установлении закономерностей распределения рудных элементов необходимо учитывать геологические и геоморфологические особенности строения участков выхода железных шляп и подвижность элементов в зоне гипергенеза. Миграционная способность элементов определяется целым рядом факторов, главным из которых является активность или инертность вмещающих пород. По относительной подвижности можно выделить три группы элементов: слабо подвижные, подвижные и сильно подвижные (табл. 3). При выделении рудных тел необходимо ориентироваться на слабо подвижные элементы.

Таблица 3

Относительная подвижность некоторых рудных элементов в зоне окисления

Вмещающие породы	Слабо подвижные элементы	Подвижные элементы	Сильно подвижные элементы
	Au, Ag, W, Bi, Be, Sn	Pb, As, Sb, Tl, Ge, Co	Zn, Cu, Mo, Cd, Ni
Активные	←	←	←
Инертные	→	→	→

Графическое изображение содержаний рудных элементов по пересечениям участков месторождений позволяет отчетливо выделить аномальные рудные зоны и зоны перспективной рудной минерализации (рис. 1, 2). При качественной оценке полезного ископаемого отсутствие в железных шляпах высокоаномальных концентраций легкоподвижных металлов не доказывает бедности руд этими элементами.

При определении главных и второстепенных компонентов руд по элементному составу гипергенных образований зон окисления и железных шляп необходимо учитывать:

а) некоторые общие закономерности распределения элементов-примесей в сульфидных минералах;

б) характер ассоциаций элементов в продуктах окисления;

в) степень распространенности и категорию аномальности каждого из них.

О некоторых закономерностях распределения элементов-примесей в гипогенных сульфидах известно следующее: серебро является характерной примесью в галенитах, кадмий обычно встречается в сфалеритах, таллий часто фиксируется в сульфосолях свинца и в галенитах, германий и индий обнаруживаются в полиметаллических сульфидных рудах, богатых мышьяком и серебром.

Исследования сохранившихся на месте продуктов непосредственного замещения сульфидных руд свидетельствуют о том, что они несут унаследованные черты элементного состава первичных минералов. Так, например, В. Н. Дубининой и И. А. Корнилович в зонах окисления сульфидных месторождений Восточного Забайкалья выявлено, что Pb, Sb, Ag в повышенных содержаниях устанавливаются в сажистых охрах, образовавшихся по галенит-буланжеритовой руде; Zn, Cd, Mn

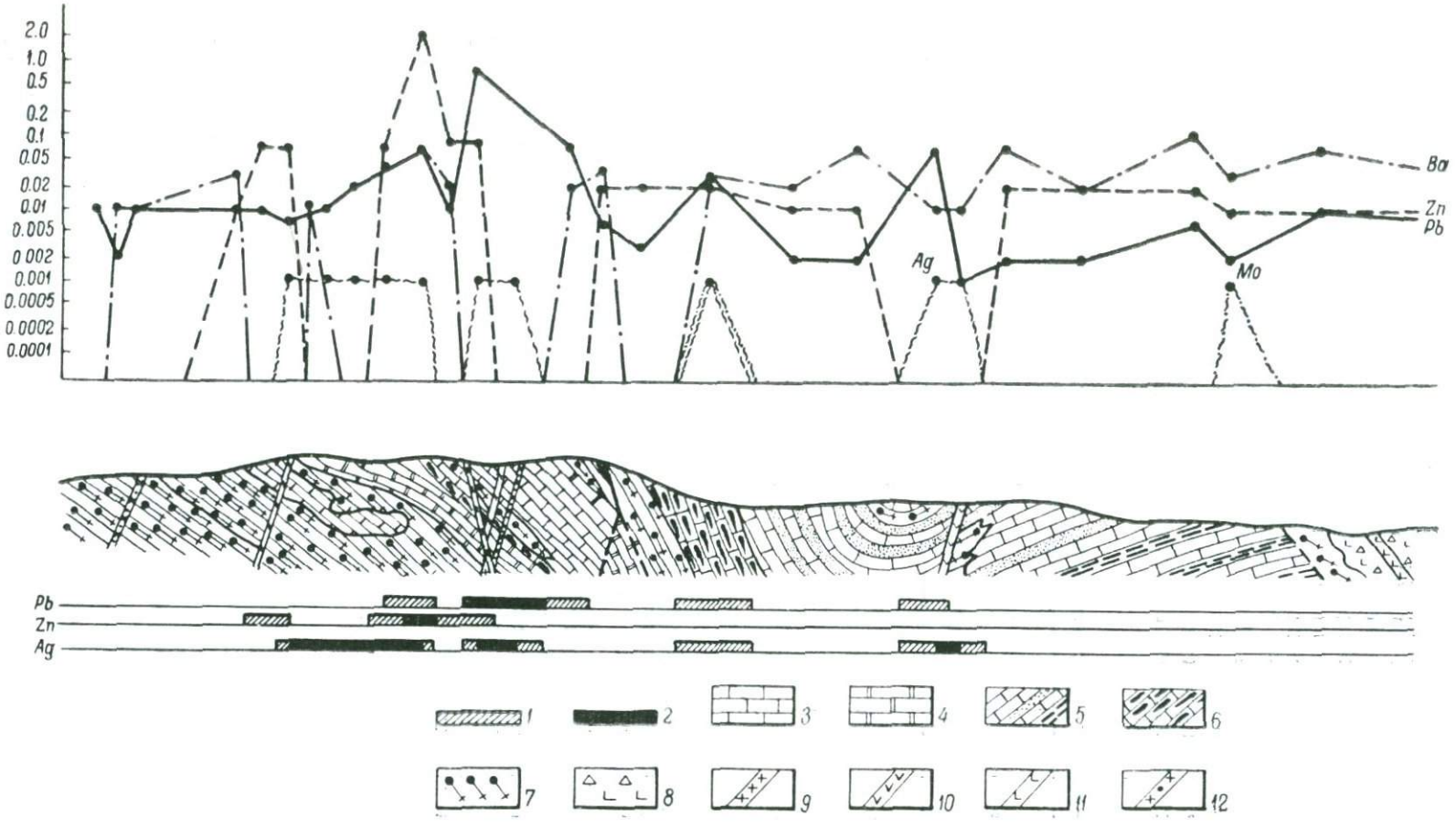


Рис. 1. График аномальных концентраций элементов

1 — ореол рассеяния; *2* — аномальное содержание; *3* — окремненные известняки; *4* — мраморизованные известняки; *5* — известняки с прослоями песчаников и сланцев; *6* — известняки с прослоями и включениями кремней; *7* — скарнированные известняки; *8* — туфы порфиритов; *9* — гранит-порфиры, микрограниты, аплиты; *10* — диоритовые порфириты; *11* — диабазовые порфириты; *12* — кварцевые жилы.

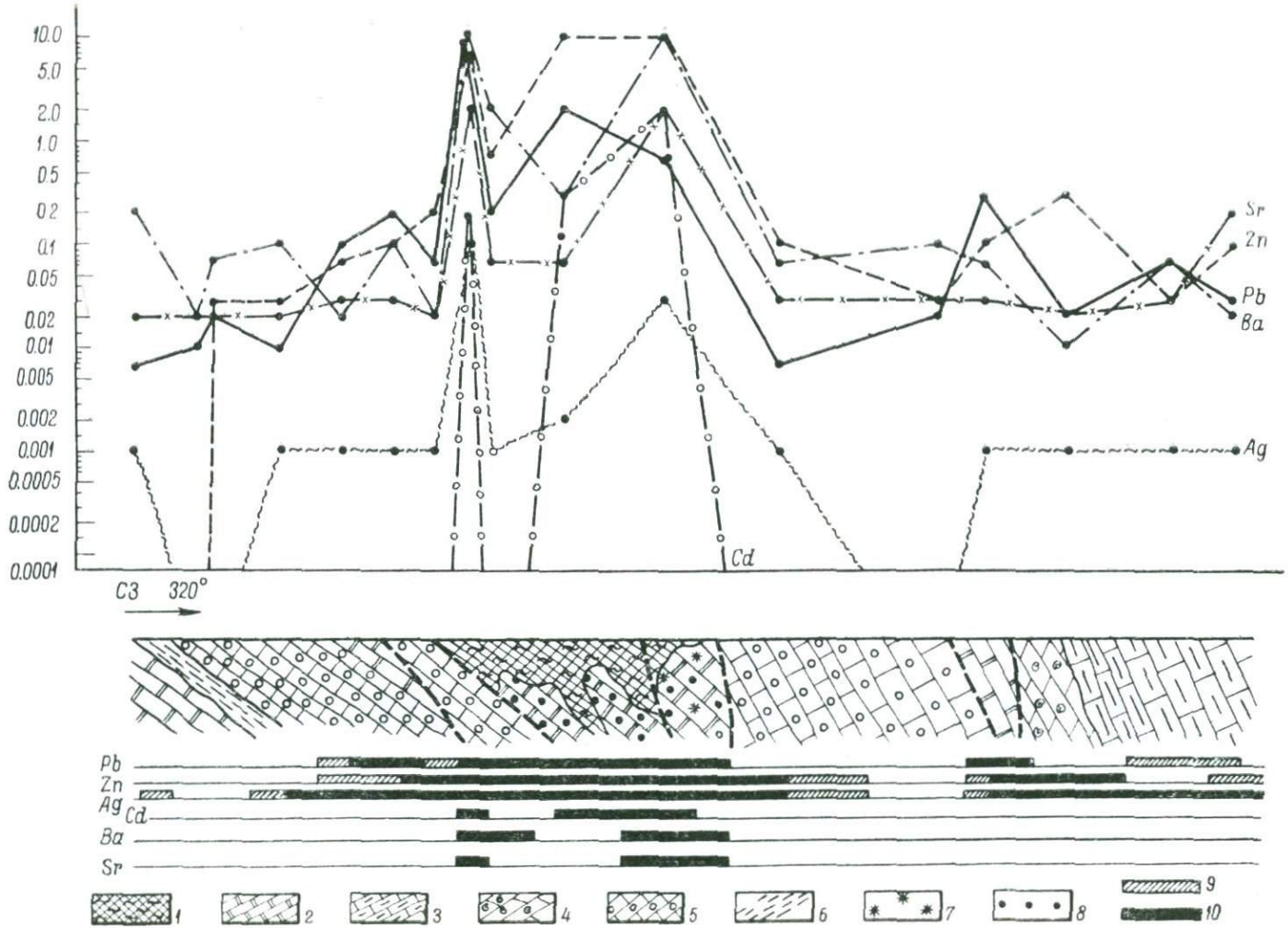


Рис. 2. График аномальных концентраций элементов.

1 — зона окисления; *2* — мраморизованный известняк; *3* — известняк с включениями кремней; *4* — органогенно-обломочный известняк; *5* — брекчиевидный окремненный известняк; *6* — углисто-кремнистый сланец; *7* — окварцевание пород; *8* — вкрапленность галенита, смитсонита; *9* — ореол рассеяния; *10* — аномальное содержание.

часто фиксируются в шоколадно-коричневых охрах, возникающих по сфалеритам в карбонатных породах; Pb, As, Sb отмечаются в светло-желтых охрах, образующихся по буланжерит-арсенопиритовым рудам, и так далее. В зонах окисления более простых по составу полиметаллических месторождений Центрального Казахстана установлено, что Pb, Zn, Ag, Cd обычно присутствуют в бурых охрах, связанных с окислением галенит-сфалеритовых руд.

Примерно те же результаты дает исследование различных модификаций лимонитов, возникших за счет продуктов непосредственного замещения сульфидов, а именно: Zn, Cd, реже Ge встречаются в плотных и пористых бурых лимонитах и лимонитах скорлуповато-оолитового сложения желтого цвета, развившихся по карбонатам цинка — монгеймиту и смитсониту; As, Sb, Pb и Ag устанавливаются в плотных часто слоистых лимонитах темно-каштанового цвета, явившихся результатом гидролиза скородита; Pb, Ag и Tl часто фиксируются в бурых различных оттенков лимонитах, плотных и пористых, иногда с характерными ящичными текстурами выщелачивания, образовавшихся за счет церуссита или плюмбоярозита и т. д.

Переотложенные гипергенные новообразования охристого и плотного сложения, как в самой зоне окисления, так и за ее пределами, также содержат соответствующий комплекс рудных элементов. Это объясняется их совместным выпадением из истинных растворов в результате химических реакций, а также в результате совместной коагуляции различно заряженных золей. Следует отметить, что отдельные металлы образуют довольно высокие концентрации в образованиях определенного типа, обладающих избирательной способностью к их накоплению. Так, например: цинк активно сорбируется монтмориллонитами, свинец и германий — гидроокислами железа, медь — кремнистыми образованиями, цинк, медь, кобальт, а из редких — таллий одинаково хорошо концентрируются в гидроокислах марганца.

Для всех выявленных рудных элементов определяется степень их распространенности и категория аномальности содержания.

Распространенность элементов определяется отношением количества проб, в которых они обнаружены, к общему количеству проб или партии проб определенной группы образований. По характеру распространенности рекомендуется выделять три основные группы:

1) широко распространенные ($>70\%$);
2) распространенные ($40—70\%$);
3) мало распространенные ($<40\%$).

Категория концентрации того или иного элемента (высокая, средняя, низкая) устанавливается сравнением вычисленного для него среднего содержания с некоторыми пороговыми значениями. Ввиду отсутствия общепринятых представлений о средних (кларковых) содержаниях рудных элементов в различных железистых и других образованиях коры выветривания, на основании которых можно было бы с уверенностью определять пороговые значения рудных элементов, рекомендуется следующее:

1. Для отличия низкоаномальных концентраций элементов от фоновых использовать значения средних содержаний во вмещающих породах участка выхода зоны окисления. При отсутствии этих данных их можно заменить значениями глобальных кларков элементов в соответствующих породах, предложенных А. П. Виноградовым. Сравнение показало, что средние содержания отдельных рудных элементов, вычисленные нами для различных вмещающих пород на участках выхода железных шляп в некоторых районах Центрального Казахстана (табл. 4), очень близки к своим глобальным кларкам в аналогичных породах и не превышают максимальных кларковых значений. Это позволяет для элементов, глобальные кларки которых в различных породах имеют значения,

Таблица 4

Глобальные и региональные значения кларков некоторых элементов

Элементы	Кларки, по А. П. Виноградову					Максимальные значения кларков	Средние содержания, полученные для некоторых районов Ц. Казахстана		
	карбонатные породы	песчаники	глины и сланцы	средние породы	кислые породы		карбонатные породы	песчано-сланцевые породы	эффузивы средне-кислого состава
Pb	$7{,}5\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	$1{,}5\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	$1{,}8\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$
Zn	$5\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	$8\cdot10^{-3}$	$7{,}2\cdot10^{-3}$	$6\cdot10^{-3}$	$1{,}3\cdot10^{-2}$ (в основных породах)	$2\cdot10^{-3}$	$7\cdot10^{-3}$	$1{,}2\cdot10^{-3}$
Cu	$2\cdot10^{-3}$	—	$5{,}7\cdot10^{-3}$	$3{,}5\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-2}$ (в основных породах)	$2\cdot10^{-3}$	$4\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$
Ni	—	$5\cdot10^{-4}$	$9{,}5\cdot10^{-3}$	$5{,}5\cdot10^{-3}$	$8\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-1}$ (в ультраосновных породах)	—	$2\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-3}$
Co	—	—	$2\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-2}$ (в ультраосновных породах)	—	$1\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-4}$
Sn	—	—	$1\cdot10^{-3}$	—	$3\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-3}$	—	—	$2\cdot10^{-4}$

лежащие преимущественно в пределах одного порядка, за местное пороговое значение принимать наиболее часто встречающееся содержание элемента, превышающее его максимальное кларковое значение, но лежащее в пределах того же порядка. Для элементов, глобальные кларки которых в различных породах отличаются на два и более порядка (Ni, Co и др.), при определении их местного порогового содержания принимается во внимание не самая высокая кларковая величина, а значение глобального кларка элемента в соответствующей породе. Таким образом, определение пороговых значений рудных элементов в каждом конкретном случае будет корректироваться местными содержаниями этих элементов.

2. Другим отправным моментом определения категории аномальности являются значения минимально-промышленных содержаний рудных элементов, заимствованные из серии выпусков «Требования промышленности к качеству минерального сырья». Учитывая обычно неупорядоченное распределение гипогенных сульфидов, различную скорость их окисления и миграции, а соответственно и неравномерное проявление рудных элементов в зоне гипергенеза, предлагается несколько занижать эти значения (табл. 5).

На основе указанных выше параметров можно выделить две категории аномального содержания элементов — низкую и высокую. Однако, принимая во внимание упомянутые особенности распределения и поведения рудных элементов в зоне гипергенеза, необходимо выделять и среднюю категорию аномальности, как это предлагается некоторыми исследователями. За нижнюю границу этой категории рекомендуется принимать утроенное пороговое значение, т. е. то содержание элемента, при котором возможно его присутствие в минеральной форме. Верхняя граница определяется значениями минимально-промышленных содержаний металлов (табл. 5).

Следует отметить, что при установлении категории аномальности содержания некоторых элементов (особенно редких) чувствительность спектрального анализа позволяет выделить только две или одну (высокую) категорию аномальности.

Оба эти параметра (степень распространенности и категории аномальности концентраций рудных элементов) могут определяться для зоны окисления в целом или дифференцированно, а именно:

1. Для гипергенных образований центральной части зоны окисления, краевых участков и приконтактово-измененных вмещающих пород.

2. По морфологическому признаку — для гипергенных образований, сохранившихся на месте и переотложенных.

3. По минеральным разностям — для лимонитов, гидроокислов марганца, глинистых минералов и т. д.

Все выявленные рудообразующие элементы, характеризующие различные типы гипергенных образований, распределяются по степени распространенности и категории аномальности их концентрации. Примером такой классификации является распределение рудных элементов в зоне окисления одного из полиметаллических месторождений Центрального Казахстана (табл. 6).

Последующая группировка элементов с учетом взаимосвязи категории аномальности их содержания и степени распространенности позволяет ориентировочно выделить комплексы главных и второстепенных компонентов руд изучаемых гипергенных образований (табл. 7). Главные элементы-индикаторы характеризуют минералы, преобладающие в составе первичных руд. Второстепенные элементы указывают на вредные или полезные примеси в рудах. Среди них выделяются постоянные элементы-примеси, присутствующие в виде тонко распыленных минералов или изоморфного замещения близких по свойствам металлов, и эпизодические элементы-примеси, которые встречаются редко, но

Зак. 524

Категория аномальности концентраций некоторых металлов с учетом их кларковых и минимально-промышленных содержаний

Элементы	Чувствительность спектрального анализа (метод просыпки порошка)	Максимальные кларки пород (по А. П. Виноградову)	Минимально-промышленные содержания	Концентрации элементов			
				фоновые	низкоаномальные	среднеаномальные	высокоаномальные
Pb	$1\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	0,5	До 0,006	0,0065—0,02	>0,02—0,1	≥0,1
Zn	$1\cdot10^{-2}$	$1,3\cdot10^{-2}$	0,6	До 0,01	0,02—0,06	>0,065—0,1	≥0,1
Cu	$1\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-2}$	0,7	До 0,01	0,01—0,03	>0,03—0,1	≥0,1
Mo	$2\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-4}$	0,05	До 0,0006	0,00065—0,002	>0,002—0,005	≥0,006
Ni	$5\cdot10^{-4}$	$2\cdot10^{-1}$**	0,3	До 0,009	0,01—0,03	>0,003—0,1	≥0,1
Co	$3\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-2}$**	0,04	До 0,003	0,004—0,01	>0,01—0,03	≥0,03
Ag	$1\cdot10^{-4}$	$1\cdot10^{-5}$	—	—	0,0001—0,0003	0,0004—0,001	≥0,001
Cd	$1\cdot10^{-2}$	$3\cdot10^{-5}$	—	—	—	—	≥0,01
Bi	$1\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-5}$	0,05	—	—	0,001—0,003	≥0,003
As	$4\cdot10^{-3}$	$6,6\cdot10^{-4}$	0,1	—	—	0,004—0,01	≥0,01
Sb	$1\cdot10^{-2}$	$2\cdot10^{-4}$	0,2	—	—	—	≥0,01
Sn	$1\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-3}$	0,1	—	0,001—0,003	0,004—0,01	≥0,01
W	$3\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-4}$	0,2	—	—	0,003—0,01	≥0,01
Ge*	$1\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-4}$	—	—	—	0,001—0,003	≥0,003
Tl	$1\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-4}$	—	—	—	0,001—0,003	≥0,003
Be	$1\cdot10^{-3}$	$5,5\cdot10^{-4}$	—	—	—	0,001—0,003	≥0,003

* Чувствительность определения Ge приведена для метода испарения из канала.

** Кларки для ультраосновных пород. Для среднего состава литосферы — Ni—$5,8\cdot10^{-3}$, Co—$1,8\cdot10^{-3}$.

Таблица 6

Распространенность и категории концентрации рудообразующих элементов в образованиях зоны окисления и вмещающих породах одного из полиметаллических месторождений Центрального Казахстана

Характер пород	Широко распространенные, 70%				Распространенные, 70—40%				Мало распространенные, 40%			
	высоко-аномальная	средне-аномальная	низко-аномальная	фоновая	высоко-аномальная	средне-аномальная	низко-аномальная	фоновая	высоко-аномальная	средне-аномальная	низко-аномальная	фоновая
Окисленная руда	Pb, Zn, Cu	—	—	—	As, Ag	Sb	—	—	—	—	Mo	Sn
Fe—Mn—Si- образования зоны окисления	Pb, Zn, Cu	—	—	Be	Ag	Sn	Mo	—	As, Sb, Cd	Co, Tl, Ge	—	Ni
Обеленные кремнисто-опализированные породы с гидроокислами Fe	—	Pb, Cu	—	Be, Ni	—	—	Mo	—	As, Bi	Zn, Co, Ge	Ag	—
Осветленные кварц-плагиоклазовые порфиры	—	—	Pb	Cu, Be	—	—	Mo, Ag, Sn	Ni	—	Zn, Bi, Co	—	—
Неизмененные кварц-плагиоклазовые порфиры	—	—	—	Pb, Cu, Ni, Be	—	—	—	—	—	—	—	Mo, Sn

в очень высоких концентрациях. Последние образуют в рудах редкие и очень локальные проявления в виде самостоятельных минералов. Высокие концентрации некоторых (главным образом, редких) элементов этой группы в зоне окисления, возможно, связаны с избирательной сорбцией их гидроокислами железа, марганца и другими образованиями.

В качестве дополнительных геохимических исследований можно рекомендовать определение некоторых специфических элементов (B, Se, Hg). Полезным является также установление соотношений между элементами в отдельных парах (Co : Ni, Ba : Sr, Se : Te). Преобладание кобальта и одновременное присутствие серебра характерно для зон окисления колчеданных месторождений. Перевес бария над стронцием свидетельствует о возможной полиметаллической минерализации. Значительное преобладание селена над теллуром говорит о высокой колчеданности руд. В полиметаллических месторождениях это отношение снижается, а в золоторудных месторождениях теллур может преобладать над селеном.

В заключение следует сказать, что предлагаемые комплексные минералого-геохимические исследования имеют большое практическое значение и могут оказать существенную помощь при поисках новых месторождений, в процессе геологической съемки.

Таблица 7

Характерные комплексы рудных элементов в гипергенных образованиях зоны окисления и вмещающих породах одного из полиметаллических месторождений Центрального Казахстана

Характер пород	Главные	Второстепенные	
		постоянные	эпизодические
Окисленная руда	Pb, Zn, Cu	Sb As, Ag	Mo
Fe — Mn — Si- образования зоны окисления	Pb, Zn, Cu	Ag, Sn, Mo	Cd, As, Sb, Co, Ge, Tl
Обеленные кремнисто-опализированные породы с гидроокислами Fe	Pb, Cu	Mo	Zn, Ag, As, Bi, Sn
Осветленные кварц-плагиоклазовые порфиры	Pb	Ag, Mo, Sn	Zn, Bi, Co

ЛИТЕРАТУРА

Альбов М. Н. Методика разведки и опробования железных шляп колчеданных месторождений Урала. Разведка и охрана недр, № 1, 1956.

Бурьянова Е. З. Определитель минералов урана и тория. Л., Госгеолтехиздат, 1963.

Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия, № 7, 1962.

Гинзбург И. И. Геохимические методы поисков полезных ископаемых. Вестник АН СССР, № 6, 1956.

Катченков С. М. О распределении химических элементов в глинах и глинистых минералах. Тр. ВНИГРИ, вып. 174, сб. 7, 1961.

Росляков Н. А., Рослякова Н. В. Метод крупномасштабного картирования зоны окисления сульфидных месторождений Западного Алтая. Геол. и геохим. рудных месторождений Сибири, 1965.

Свешников Г. Б. Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. Л., Изд-во ЛГУ, 1967.

Синдеева Н. Д., Куликова М. Ф. Редкие элементы в зоне окисления сульфидных месторождений. Тр. Ин-та минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов АН СССР, вып. 10, 1963.

Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. ОНТИ НКТП СССР, 1955.

Цыкунова Н. А., Дубинина В. Н., Корнилович И. А., Читаева Н. А. Изучение зон окисления сульфидных месторождений. Методические указания по геологической съемке м-ба 1 : 50 000, вып. 12. Л., Недра, 1969.

Шахов Ф. Н. Морфологические черты зоны окисления. Тр. Ин-та геол. и геофиз. АН СССР, вып. 4, 1960.

УДК (550.8 : 528.94) : 556.314

Е. Е. Белякова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ И ПОИСКАХ

При крупномасштабной геологической съемке большое значение приобретает изучение химического состава картируемых горных пород. При этом наряду с прямыми методами геохимических исследований могут быть использованы и косвенные методы изучения геохимических характеристик пород и их металлогенических особенностей. К таким методам принадлежит и гидрогеохимический. Этот метод может быть особенно полезен в районах сложного геологического строения, на территориях плохо обнаженных — закрытых, труднодоступных для непосредственного отбора образцов картируемых пород.

Этот метод не является ведущим в комплексе геологосъемочных работ, тем не менее данные гидрохимических исследований могут быть полезными при решении ряда геологических и поисковых задач. К их числу относятся: а) определение степени геохимической однородности ландшафта; б) выявление и прослеживание под покровом четвертичных и других отложений разломов, пликативных структур, рудоконтролирующих формаций, вулканических аппаратов и других геологических тел; в) выяснение геохимических и металлогенических особенностей горных пород, прогноз качества (тип рудной формации) вероятных рудопроявлений и выделение наиболее перспективных для поисков рудных месторождений участков.

При решении отмеченных задач с привлечением гидрогеохимического метода в качестве критериев используются компоненты общего и поэлементного состава природных вод. Эти данные подвергаются специальной обработке.

Вопрос о том, как обрабатывать результаты анализов природных вод для решения отмеченных выше задач, относится к числу дискуссионных. Те приемы обработки аналитических данных, которые приведены ниже, разработаны нами (Белякова и др., 1968) и проверены на территории СССР в различных природных условиях. Их обоснование и подробное освещение дано в «Методических указаниях по геологической съемке 1 : 50 000 (1 : 25 000)», вып. 10 (1970).

Прежде всего классифицируется общий ионный состав природных вод. Целью такой классификации является: выделение однородных гидрохимических сред, отражающих особенности формирования природных вод и, главным образом, их динамику; выявление элементарных однородных гидрохимических сред, отражающих особенности природных условий района, в том числе и особенности геологического строения.

В основе классификации лежит принцип однородности химических свойств раствора, определяющих его агрессивность к породам. Наиболее простым и общедоступным критерием типа и состояния агрессивности раствора к породам является соотношение анионов сильных и слабых кислот в данном растворе. По величинам этого соотношения различаются четыре типа вод: неметаморфизованные, с неустойчивым углекислотно-карбонатным равновесием; начальной метаморфизации, с устойчивым углекислотно-карбонатным и неустойчивым хлоридно-

сульфатно-карбонатным равновесиями; средней метаморфизации, с неустойчивым хлоридно-сульфатным равновесием; высшей метаморфизации, с устойчивым хлоридно-сульфатным равновесием. Для каждого типа вод характерен и ряд других определенных химических и биохимических показателей (таблица).

В условиях верхнего гидродинамического этажа зоны гипергенеза, с которыми приходится иметь дело при геологических съемках, распространены преимущественно воды неметаморфизованные и начальной метаморфизации. Воды средней метаморфизации встречаются редко, а воды высшей метаморфизации — особенно редко. Последние характерны для нижнего гидродинамического этажа, для артезианских бассейнов. В пределах же верхнего гидродинамического этажа они, как правило, явление аномальное, более или менее характерное для равнинных территорий аридных областей.

Типы вод, выделенные по этому показателю, являются однородной гидрохимической средой определенных гидродинамических областей верхнего гидродинамического этажа (зона гипергенеза). Неметаморфизованные воды свойственны областям инфильтрации, формирования подземного и поверхностного стока, наиболее высоко приподнятым в рельефе, с хорошо промытыми горными породами. Воды начальной метаморфизации распространены в областях транзита подземных и поверхностных вод, на участках предгорий и низкогорий с более затрудненным водообменом и более слабо промытыми породами. Воды средней метаморфизации сосредоточены в областях аккумуляции стока и преимущественной разгрузки подземных вод в атмосферу путем испарения и транспирации, где широко распространены очень слабо промытые, а иногда и засоленные породы. В таких условиях метаморфизация вод достигает иногда и высшей степени.

Если воды, обнаруженные на том или ином участке съемки, характеризуются всеми показателями, свойственными водам определенного химического типа (см. таблицу), то они относятся к нормальным водам этого типа, а если отличаются по одному или ряду признаков, то расцениваются как аномальные воды данного химического типа.

Анализируя распространение по площади нормальных и аномальных вод различных химических типов, можно выделять три типа ландшафтов: выщелачивания и выноса минеральных веществ из горных пород с однородной средой, представленной неметаморфизованными водами; выноса и частичной аккумуляции минеральных веществ в водах и горных породах с однородной средой, представленной водами начальной метаморфизации; дифференцированной аккумуляции минеральных веществ в горных породах и водах с однородной средой, представленной водами средней метаморфизации. Если водная среда ландшафта не аномальна, то ландшафт относится к разряду нормальных ландшафтов по направленности геохимических процессов. Аномальным водам определенных химических типов соответствуют и аномальные геохимические типы ландшафтов. В числе таких могут быть ландшафты, аномальность которых связана с влиянием как особенностей геологического строения (тектонический, литолого-фациальный), так и с воздействием специфических гидрогеологических и климатических условий (испарительный, конденсационный, биохимический, интенсивной инфильтрации, подпора и т. д.).

Пользуясь данными о гидрохимической однородности среды, можно районировать территорию съемки по условиям применения литохимических методов для поисков руд. На площадях развития неметаморфизованных вод и, следовательно, ландшафтов выщелачивания и выноса минеральных веществ из пород применение литохимических методов по экзогенным ореолам и потокам рассеяния, а также шлихового опробования наиболее целесообразно потому, что определение природы выяв-

Таблица

Химические и биохимические показатели природных вод различных типов

Химический тип воды	$\frac{SO''_4+Cl'}{HCO'_3+CO''_3+HSiO'_3}$	Преобладающие значения pH	Ионная сила раствора, μ	Eh, в		Общая бактериальная заселенность (количество клеток в 1 *мл*)	Встречаемость и активность микроорганизмов		
				расчетные данные	данные Гаррелса в интерпретации Е. Е. Беляковой		аэробные (по Л. Е. Крамаренко)	факультативные	анаэробные
Неметаморфизованные	<0,5	<7	0,006	0,88—0,94	0,5—0,9	Незначительная, не более 100	Редкая, переменной активности	Отсутствуют	
Начальной метаморфизации	от 0,5 до 4	5,3—9	0,01—0,04	0,8—0,86	0,3—0,5	1000 и более	Часто встречаются, активны	Иногда встречаются, мало активны	
Средней метаморфизации	от 4 до 60	≥7	0,05—0,2	0,73—0,85 (—0,38)—(—0,40)	0,2—0,4 (—0,1)—(—0,2)	Более 1000	Часто встречаются, переменной активности	Встречаются, активны	
Высшей метаморфизации	>60	≥7	0,2	0,2—0,76 (—0,37)—(—0,40)	0,1—0,3 (—0,2)—(—0,4)	Разная, но не более 1000	Иногда встречаются	Часто встречаются	
							Мало активны		

Продолжение табл.

Химический тип воды	Характерные сочетания Eh — pH	Подтип вод по степени минерализации										
		очень пресные	Пресные		Слабо солоноватые	Соленые			Рассолы			
			мягкие	жесткие		очень слабо	слабо	сильно	весьма слабые	слабые	крепкие	весьма и сверхкрепкие
			(по И. К. Зайцеву)									
Неметаморфизованные	0,84—6,3	0,2	0,3—0,5	0,5—1,0	1—3	3—5 (редко)	—	—	—	—	—	—
Начальной метаморфизации	0,83—7,0	—	0,3—0,5 (редко)	0,5—1,0	1—3	3—5	5—10	10—30	35—50 (редко)	—	—	—
Средней метаморфизации	0,36—7,2	—	—	—	0,9—3	3—5	5—10	10—35	35—50	70—100	—	—
Высшей метаморфизации	0,11—7,0	—	—	0,5—0,8 (аномальные)	—	—	—	10—20	35—50	70—140	140—160	160

ленных здесь аномалий не вызовет больших затруднений, так как в таких условиях развиты преимущественно механические ореолы рассеяния химических элементов.

На участках распространения вод начальной метаморфизации нормального ряда и, следовательно, ландшафта выноса и частичной аккумуляции минеральных веществ в породах, применяя литохимические методы, надо учитывать вероятность широкого развития экзогенных концентраций рудных элементов в гидрооксикарбонатных образованиях кор выветривания.

Наиболее сложны условия применения литохимических методов для поисков руд по экзогенным ореолам рассеяния в ландшафтах аккумуляции, где присутствуют воды средней метаморфизации. На участках распространения таких вод применение и других геохимических методов (биогеохимического, литогеохимического) к поискам руд может оказаться неэффективным, если недостаточно внимательно исследованы факторы формирования аномальных распределений элементов в водах, почвах, элювиально-делювиальных образованиях и растениях. В таких условиях экзогенные концентрации многих элементов, в том числе и рудообразующих, могут быть и в водах, и в растениях, и в рыхлых образованиях, в почвах и гидрооксисульфатных новообразованиях кор выветривания.

Нормальные химические типы природных вод характеризуются однородными условиями миграции химических элементов, что позволяет определять площади, для которых могут быть приняты и рассчитаны средние концентрации элементов как в водах, так и в рыхлых образованиях.

Если на фоне нормальных вод одного химического типа отмечаются локальные проявления вод другого химического типа нормального ряда, то последние рассматриваются как критерии особенностей геохимического облика района съемки и используются в целях прогноза. Например, в северо-восточной части Успенской тектонической зоны (Центральный Казахстан) на фоне неметаморфизованных вод выделяются воды начальной метаморфизации в рыхлых образованиях р. Жарлы, связанные с водовыводящим Коктальским разломом. Водопоглощающий разлом в долине Копа (Южный Казахстан) выделился по появлению неметаморфизованных вод на фоне вод начальной метаморфизации. Водовыводящие разломы в Западном Копет-Даге, на участках, закрытых неоген-четвертичными отложениями, четко выделяются по аномальным водам средней метаморфизации, содержащим сероводород. Серия региональных и оперяющих их разломов в Алмалыкском районе выделилась цепочками трещинно-жильных вод, отличных по химическим типам от регионально распространенных. Аналогичным образом проявляются в водах ледниковых отложений региональные и оперяющие их разломы на Кольском полуострове и т. д.

Водами высшей метаморфизации очень часто в ландшафтах аккумуляции фиксируются синклинальные структуры, погребенные под наносами и не картируемые при визуальных наблюдениях. Например, по распространению вод высшей метаморфизации хорошо прослеживаются границы Жаильминской мульды в Центральном Казахстане. В предгорьях Киргизского хребта водами высшей и средней метаморфизации, связанными с кайнозойскими отложениями Чуйской впадины, фиксируются синклинальные структуры мезозоя, развитые в зоне передового прогиба. Серия небольших мульд, сложенных палеозойскими карбонатными породами, контролирующих медное и полиметаллическое оруденение в Алмалыкском районе, проявилась водами средней метаморфизации на фоне вод начальной метаморфизации. Примеры можно было бы умножить. По общему химическому составу вод можно судить об особенностях литологии горных пород. С этой целью воды определен-

ных химических типов подразделяются по степени минерализации (по принципам И. К. Зайцева, 1970) на группы и классы по анионно-катионному составу на основании принципов, предложенных нами (Белякова и др., 1968). Приведем ряд примеров.

На территории Киргизского хребта доломиты и доломитизированные породы фиксируются гидрокарбонатными магниевыми водами на фоне гидрокарбонатных кальциевых вод. Здесь же и в других районах (Кавказ, Казахстан, Средняя Азия, Саяно-Алтайская область, Забайкалье, Дальний Восток, Кольский полуостров и др.) загипсованные разности пород проявляются сульфатными смешанными по катионам или кальциевыми водами на фоне гидрокарбонатных кальциевых или смешанных по катионам. В Удоканском районе, в условиях развития многолетней мерзлоты, пестроцветные формации, содержащие стратиформные месторождения меди, выделяются на фоне гидрокарбонатных кальциевых вод гидрокарбонатными магниевыми и натриевыми. Во всех приведенных случаях, за редкими исключениями, минерализация вод разных классов не отличается от таковой вод фона.

Соленосные породы проявляются в ионном составе вод и в степени их минерализации. Для таких вод характерен хлоридный натриевый или смешанный по катионам состав и повышенная, не свойственная неметаморфизованным водам, общая минерализация. Месторождения сульфидных руд в условиях аридной зоны часто фиксируются водами средней и высшей метаморфизации, смешанными по анионам натриевыми или кальциевыми, с несвойственной водам этих типов низкой минерализацией, не более 3 *г/л*. В условиях гумидной зоны сульфидные месторождения могут выделяться на фоне нормальных по химическим и биохимическим показателям неметаморфизованных вод, аномальными неметаморфизованными водами повышенной минерализации, водами начальной метаморфизации сульфатного кальциевого состава и, реже, водами средней метаморфизации.

Факты приуроченности выходов своеобразных по химическому составу минеральных холодных и термальных вод, отличных по составу растворенных и свободных газов от нормальных вод зоны свободного водообмена, широко известны и давно используются в целях прослеживания тектонических нарушений при геологических съемках.

Более полные и разнообразные сведения о вещественном составе и металлогенических характеристиках горных пород при геологических съемках можно получить, пользуясь данными о распределении и концентрациях в водах широкого ряда химических элементов.

При геологических съемках любого масштаба, в том числе и крупного, чрезвычайно важно и необходимо получить данные об естественных, исторически сложившихся распределениях химических элементов в породах. Используя для этих целей гидрохимические данные, необходимо выявить черты сходства в распространении элементов в системе вода — породы, а появившиеся различия — правильно объяснить, учитывая закономерности водной миграции элементов и их групп. Геологическая съемка проводится по планшетам в течение ряда лет. Поэтому надо выделять такие гидрогеохимические поля, которые можно проследить и на соседних планшетах съемки в разные годы.

Из этих положений вытекают требования к методам отбора проб воды, их анализа и обработки аналитических данных:

1) пробы воды должны отбираться в такой сезон каждого года, когда равновесие в системе вода — породы наиболее стабильно (период летней межени); 2) пробы воды необходимо анализировать на большое количество элементов с применением достаточно точных и высокочувствительных методов; 3) для интерпретации гидрохимических данных необходимо применять единые нормы глобального характера, рассчи-

танные с учетом особенностей распространения элементов в водах разных химических типов.

Обратимся к принципам и методам интерпретации. Прежде всего надо отметить, что до сих пор не были рассчитаны такие нормы или уровни средних концентраций элементов в водах, с которыми можно было бы сравнивать их количества в водах отдельных водоисточников или их групп и выделять близкие к естественным, исторически сложившимся, гидрогеохимические поля. Поэтому нам пришлось исследовать особенности распространения химических элементов в водах разных химических типов в ряде районов СССР и рассчитать средние содержания ряда (более 30) химических элементов, нормировав их по минерализации воды, чтобы исключить влияние этой переменной величины. Такие нормированные по минерализации величины — концентрации элементов в водах, выраженные в процентах к минерализации, — близки, как мы полагаем, к кларкам природных вод континентов. Расчеты проведены по смеси вод четырех отмеченных выше химических типов с интервалом минерализации от 0,02 до 240 *г/л*. Воды каждого типа представлены в выборке пропорционально распространенности в верхнем гидродинамическом этаже земной коры.

При интерпретации гидрохимических данных по отношению к этим средним величинам в водах отдельных водоисточников выделяются избыточные, недостаточные и нормальные концентрации элементов. Все три категории концентраций элементов в водах могут быть вызваны разными причинами. Поэтому в каждом конкретном случае определяется степень аномальности концентрации каждого из элементов в системе вода — породы (сульфиды) земной коры (с использованием значений кларков элементов в породах, по А. П. Виноградову, 1962, и в сульфидах, по Ноддакам, 1930) и природа концентрации или рассеяния элемента с учетом энергетических характеристик атомов элементов и их ионов в водных растворах данного химического типа. В результате такой обработки аналитических данных выделяются гидрохимические ассоциации избыточных, недостаточных и нормально распространенных в водах элементов, устанавливаются их типы, характерные для отдельных разностей пород (литогенные), для руд различных формаций или их генетически близких групп (металлогенные), для собственно водного раствора (гидрохемогенные). Типизация гидрохимических ассоциаций производится по индикаторным группам элементов, которые устанавливаются при опытно-методических работах на рудных месторождениях типичных рудных формаций и на массивах горных пород, типичных по формационной принадлежности и хорошо геохимически изученных.

Определив степень аномальности концентраций элементов рудообразующих и сопутствующих им минералов по отношению к кларкам пород и сульфидам земной коры, можно выделить рудные гидрохимические ассоциации из более широкой группы металлогенных ассоциаций, объединяющих элементы рудообразующих минералов, находящиеся в избыточных количествах по отношению к их кларкам в природных водах континентов. Металлогенные и литогенные ассоциации используются для геохимической и металлогенической характеристик горных пород, а рудные — для выделения участков, перспективных для поисков рудных месторождений.

Опытно-методические работы показали, что в составе гидрохимических ассоциаций элементов с избыточными в водах и, часто, с аномальными в системе вода — породы концентрациями находятся проходящие элементы, по которым невозможно различать и дифференцировать ассоциации Al, Si, Ga, Ti, Cr, V, Fe, Mn, Zr, Cu, Zn, Cd, Pb, Mo и др., наряду с которыми присутствуют и локально распространенные элементы. По сочетанию последних с проходящими элементами можно различать

гидрохимические ассоциации и дифференцировать их по типам. К элементам локального распространения относятся Sb, Sn, Be, F, Bi, U, As, Y, La, Nb, W. Сочетания этих элементов с проходящими элементами, отражающие поэлементный состав устойчивых минеральных ассоциаций руд определенных формаций, и рассматриваются как индикаторные группы при типизации металлогенных и рудных гидрохимических ассоциаций. Например, сочетание Sb, Pb, Zn (Cd) характерно для вод пород с колчеданно-полиметаллической минерализацией средних температур и глубин, Sb, Cu, Zn, Ag — для вод пород с медноколчеданной, а Sb, As, Zn — для вод пород с кварц-антимонитовой с арсенопиритом и сфалеритом средне-низкотемпературной минерализацией; сочетание Sn, Pb, Zn (Cd) в гидрохимической ассоциации отражает присутствие в породах касситерито-сульфидной, а сочетание Sn, Mo, Be, W — кварц-вольфрамит-грейзеновой высокотемпературной минерализации; сочетания F, Li, K с Y, Zr и F, Li, K с Be, Mo, W, Sn, Bi — характеризуют соответственно воды пород с высокотемпературной магматической и гидротермальной редкоземельной или редкометальной минерализацией, а F, Li, K со Sr, Mo отражают развитие в породах низкотемпературной сульфидной минерализации и флюорита. Примеры можно было бы умножить. Элементы индикаторных групп, отражающие в сочетании характерные особенности поэлементного состава устойчивых минеральных ассоциаций руд определенной формационной принадлежности, проявляют устойчивую тенденцию к положительной корреляции друг с другом в водах. Это четко устанавливается с помощью метода многократной корреляции Ю. К. Буркова (Методические указания, вып. 10, 1970). Таким методом можно выявить структуру связей между элементами в водах и дать оценку относительной геохимической подвижности компонентов водного раствора, что позволяет уточнить тип гидрохимической ассоциации с учетом корреляционных связей между компонентами раствора и миграционной способности элементов.

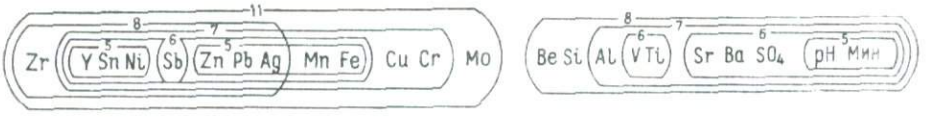
Приведем примеры использования гидрохимических ассоциаций элементов для решения геологических и поисковых задач.

Гранитоиды сютхольского комплекса (Западный Саян) по кларкам концентрации характеризуются: средне аномальными концентрациями сурьмы, цинка и свинца; минимально аномальными — олова, серебра, меди, никеля, марганца и хрома; избыточными в водах количествами, но не достигающими кларков кислых магматических пород (по Виноградову, 1962) кремния, алюминия, титана, ванадия, циркония, бериллия, иттрия, железа, стронция и бария. Изобразив состав гидрохимической ассоциации в виде геохимической формулы (Sb, Zn, Pb) [Sn, Mo, Ag, Cu, Ni, Mn, Cr] **Si**, **Al**, **Ti**, **V**, **Zr**, **Be**, **Y**, **Fe**, **Sr**, **Ba** и пользуясь индикаторными группами для типизации ассоциации, можно сделать ряд выводов о геохимических и металлогенических особенностях этих пород. В составе ассоциации имеется сочетание элементов индикаторной группы колчеданно-полиметаллической (Sb, Zn, Pb) рудной ассоциации с элементами индикаторной группы редкометальной кварцево-грейзеновой металлогенной (Mo, Be, Y) гидрохимической ассоциации. Это указывает на сложную металлогеническую характеристику гранитоидов. Олово, присутствующее в водах гранитоидов в минимально аномальных концентрациях, в сочетании с цинком и свинцом характеризует касситерито-сульфидную минеральную ассоциацию, а в сочетании с Mo, Be, Y, Si, Zr — кварцево-грейзеновую редкометальную. Медь, серебро, находящиеся в водах также в минимально аномальных концентрациях, в сочетании с избыточными количествами стронция и бария характеризуют низкотемпературную барито-халькопиритовую минеральную ассоциацию. Сочетание Fe, Mn с халькофильными элементами может быть обусловлено окисленностью сульфидов, а избыточные концентрации в водах хрома, титана, ванадия, наряду с такими же концентрациями

железа, алюминия, кремния, — присутствием среди гранитоидов разностей основного состава.

Эти данные позволяют предполагать, что сютхольские гранитоиды — разнофациальные образования, а их металлогенический облик формировался в течение ряда стадий минералообразования — от щевматолитовой высокотемпературной до гидротермальной низкотемпературной.

Применив метод многократной корреляции, можно установить особенности корреляционных связей между компонентами в водах и уточнить геохимическую характеристику сютхольских гранитоидов по гидрохимическим данным. Гидрохимическая ассоциация сютхольских гранитоидов состоит из двух частных ассоциаций, в каждой из которых ряд компонентов объединен положительными связями.



Как видно из формулы, тенденция к положительной корреляции у разных групп элементов не одинакова, что отражается в появлении значений коэффициентов связи между векторами коэффициентов парной корреляции, близких к единице (+0,998 — +0,999), на разных циклах многократной корреляции (показано в формуле арабской цифрой в разрыве овала).

В левой частной ассоциации сосредоточены халькофильные элементы и элементы акцессорных минералов с их примесями (Zr, Sn, Y, Cr), а также марганец. В правой частной ассоциации находятся элементы петрогенных минералов (Be, Si, Al, Ti, V) — алюмосиликатов и элементы жильных образований (Sr, Ba, SO_4), наиболее тесно связанные с pH и общей минерализацией воды. Структура связей между элементами в водах подтверждает сложность геохимии сютхольских гранитов. Они оловоносны, редкоземельно-редкометальны в своей основе с наложенной колчеданно-полиметаллической среднетемпературной и баритохалькопиритовой низкотемпературной гидротермальной минерализацией. Процессы окисления вызвали перераспределение элементов в гипергенных новообразованиях, что нашло отражение в структуре связей между элементами в левой частной ассоциации.

Проследив распространение вод с однотипными металлогенными ассоциациями элементов по площади, можно наметить простирания литолого-стратиграфических и магматических комплексов, сходных по металлогеническим характеристикам, выявить металлогенические зоны и провести их границы (Геология и металлогения Успенской тектонической зоны, т. 4, 1968).

Гидрохимические данные можно использовать для определения положения вулканических аппаратов, особенно центрального типа. В природных водах вблизи древних вулканических аппаратов по кларкам концентрации элементов выделяются гидрогеохимические аномальные поля с сурьмяно-свинцово-цинковой металлогенной или с колчеданно-полиметаллической рудной ассоциациями. Аномальные гидрогеохимические поля имеют кольцевое расположение по обрамлению главного и побочных кратеров. С породами жерловых фаций, если они не уничтожены эрозией, обычно связаны аномальные гидрогеохимические поля с иными типами металлогенных или рудных ассоциаций. Наиболее часто породы жерловых фаций отражаются в водах сложными ассоциациями элементов, характеризующими многостадийный процесс минералообразования. В ряде случаев индикаторные группы элементов гидро-

химических ассоциаций жерловых образований представлены элементами устойчивых минеральных ассоциаций редкометальных, либо медноколчеданных или смолково-сульфидных руд. Целый ряд вулканических аппаратов был выявлен нами, по гидрохимическим данным, среди монотонных полей вулканитов и под покровом неоген-четвертичных отложений на территории Центрального Казахстана, Мугоджар, Киргизского Алатау, в северо-восточной части Енисейского кряжа и в других районах СССР. Гидрохимическими аномалиями и водными ореолами рассеяния сурьмы, ртути, фтора линейного и цепочечного расположения, резко переходящими в нормальный фон, выделяются геохимически активные разломы, тектонические контакты, активные контакты интрузивов с вмещающими породами, оконтуриваются очаги магматизма, фиксируются зоны активной гидротермальной деятельности; коры выветривания хорошо прослеживаются по гидрогеохимическим полям с железомарганцевой и железо-марганцево-алюминиевой ассоциациями.

Участки, перспективные для поисков рудных месторождений, выявляются по локальным металлогенным гидрохимическим аномалиям и водным ореолам с рудными типами гидрохимических ассоциаций элементов. Наибольшего внимания при этом заслуживают гидрохимические аномалии и водные ореолы, выделившиеся по ведущим элементам руд данной формации при малой дисперсии их концентраций в водах аномального гидрогеохимического поля. Особого внимания и проверки биогеохимическими и наземными геофизическими методами заслуживают водные ореолы с минимально аномальными концентрациями в системе вода — породы ведущих и сопутствующих элементов руд данной формации, резко переходящие в нормальный или отрицательно аномальный гидрохимический фон. Такие ореолы часто фиксируют скрытое оруденение, залегающее ниже региональных базисов эрозии.

При поисковой интерпретации гидрохимических данных в ландшафтах выноса и частичной аккумуляции минеральных веществ в породах необходимо опасаться пропуска перспективных участков из-за угнетенных концентраций в водах слабых электроположительных элементов (Cu, Zn, Ni и др.), а в ландшафтах дифференцированной аккумуляции минеральных веществ в водах и горных породах — выявления аномалий и ореолов накопительной природы, в числе которых могут быть и не связанные с оруденением.

Правильность прогнозов по гидрохимическим данным во многом зависит от тщательности определения природы гидрохимических аномалий и водных ореолов, с учетом геохимической подвижности элементов в водах различных химических типов. Объективным методом установления рядов относительной геохимической подвижности элементов в водах является метод многократной корреляции. Ниже приведем, как пример, ряды относительной геохимической подвижности элементов в системе вода — силикатные породы в условиях аридного климата (от менее к более подвижным):

Неметаморфизованные воды:

Zr, Ti—Cl, V →Al, SO_4 — →Sr, Na — — — — →Li — — — →Mg — — →Fe→Be, Cr→Mn, Sb — →Ni→Ba, Pb, Zn, Cu, HCO_3, Ca;

Воды начальной метаморфизации:

Ti, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, HCO_3→Zr, Ba→Mo, Li→Ca — — →Mg, Sr — — — — — →Na, Cl — — — →SO_4;

Воды средней метаморфизации:

Ni, Mn, Cu, Al, Fe→Zr, Ti — — — →Mo — — →SO_4 — — — — — — →Cl, Na — — — — — →Mg, HCO_3, Sr, Ca.

В неметаморфизованных водах силикатно-карбонатных рудоносных пород с хорошо развитыми гидрооксикарбонатными корами вывет-

ривания и зонами окисления сульфидов ряд геохимической подвижности элементов заметно отличается от выше приведенных (от менее к более подвижным):

HCO_3, Cu, Zn, Pb, Fe, Ba, Al, Ti→Mn, V→Ag — →Ca — — — — — →Mo, Sr — — →Na, Mg, Cl, SO_4.

Во всех приведенных случаях наименьшая подвижность у слабых катионов и, иногда, у сильных катионов с халькофильными свойствами. Наиболее подвижны, независимо от химического типа вод и состава водовмещающих пород, сильные катионы и ряд электроположительных элементов, образующих комплексные анионы с кислородом. На подвижность элементов влияют формы нахождения в породах (например, хлор в неметаморфизованных водах силикатных пород, ряд 1).

В заключение надо обратить внимание на преимущественное влияние на относительную геохимическую подвижность элементов в условиях гипергенеза не внешних (физико-географических), а внутренних факторов — энергетических характеристик атомов элементов и их простых и комплексных ионов. Это значительно расширяет возможности гидрогеохимического метода и облегчает труд интерпретации гидрохимических данных при решении геологических и поисковых задач.

ЛИТЕРАТУРА

Белякова Е. Е., Кронидова Т. Ф., Шапиро С. М., Островский В. Н., Петров Н. Д. Принципы гидрогеохимического анализа и прогнозная оценка территорий на рудные полезные ископаемые. Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия, т. 155, 1968.

Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. Геохимия, № 7, 1962.

Геология и металлогения Успенской тектонической зоны, т. 4. КазССР, Алма-Ата, Наука, 1968.

Зайцев И. К. Некоторые вопросы терминологии и классификации подземных вод. Матер. ВСЕГЕИ, нов. серия, вып. 10, 1970.

Методические указания по геологической съемке масштаба 1 : 50 000. Гидрохимические исследования, вып. 10. Л., Недра, 1970.

УДК 550.87 : (550.8 : 528.94)

Н. Н. Васильева, Н. Л. Загребина,
С. А. Масютина

БОТАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ И ПОИСКАХ

При ведении геологической съемки м-ба 1 : 50 000 (1 : 25 000) на площадях развития мощной толщи непродуктивных рыхлых отложений к решению ряда геологических и поисковых задач рекомендуется привлекать ботанические методы.

Вопросами изучения растительного покрова в целях решения некоторых геологических задач планомерно начали заниматься с 1945 г. сотрудники ВАГТа под руководством С. В. Викторова (1955, 1961, 1962). Под общим названием ботанические методы исследований объединены два метода: геоботанический (собственно ботанический) и биогеохимический.

Сущность геоботанического метода заключается в использовании различных признаков растительного покрова для решения задач геологического картирования, а также для выявления на площади ведения геологической съемки участков рудопроявлений и месторождений полезных ископаемых.

В основе использования геоботанического метода в целях решения геологосъемочно-поисковых задач лежит наличие тесной связи между растительностью и субстратом, на котором эта растительность произрастает.

В пределах одной климатической зоны горным породам принадлежит ведущая роль в формировании растительности, в определении ее состава и облика.

Горные породы определенного состава, равно как и площади, обогащенные рудными полезными ископаемыми, представляют собой особые среды обитания растений. Специфика этих сред обусловливается особенностями минералогического состава горных пород и рудных тел. Почвы, развитые на некоторых горных породах (серпентинитах, перидотитах) или рудных телах, содержат избыточные количества химических элементов, являющихся для растений элементами-ядами. К числу таких элементов-ядов принадлежат ртуть, сурьма, свинец, висмут, а также мышьяк, серебро, кобальт, никель и уран. Влияние избыточных концентраций элементов, в том числе и элементов-ядов, на растительном покрове может сказываться по-разному. Оно может вызывать: а) распространение определенных, только к этим участкам приуроченных видов растений (виды-индикаторы); б) морфологическую изменчивость у одного или ряда видов, широко распространенных в районе растений; в) изменения всего облика растительности (характера размещения растений, степени сомкнутости покрова, строения его и т. д.) *или г) изменения ритма развития растений.*

Поэтому при ведении геоботанических исследований в целях решения геологосъемочно-поисковых задач должны детально изучаться и фиксироваться такие группы ботанических признаков, как флористические (особенности видового состава сообщества), морфологические (специфические отклонения в форме роста растений, в форме и окраске листьев, стеблей, соцветий и т. п.), фенологические (различные отклонения от нормы в ритме развития растений) и фито-

ценотические (специфика сообществ в целом — в характере размещения растений, в проективном покрытии, в жизненности компонентов сообщества и т. д.) (Виноградов, 1964).

Геоботанические исследования, проводимые в целях установления и дальнейшего использования различных индикаторных признаков растительности для характеристики геолого-геохимических особенностей субстрата (среды), носят название индикационных (литоиндикационных или поисковых).

Представляется целесообразным при ведении индикационных геоботанических исследований в масштабе работ 1 : 50 000 ориентироваться на весь комплекс ботанических признаков. Прежде всего обращается внимание на крупные и легко обнаруживаемые изменения в растительности, т. е. устанавливаются фитоценотические и некоторые морфологические признаки. В ходе полевых работ при этом отмечаются границы распространения определенного растительного сообщества или комплекса сообществ. Такие геоботанические границы могут оказаться связанными со сменой горных пород. Особого внимания заслуживает изучение границ сообществ, составленных различными биоморфами, т. е. границ между древесными, кустарниковыми и травянистыми сообществами, а также границ различных типов лесов. Установление фенологических признаков сообществ требует более детального изучения растительного покрова.

Любые индикационные геоботанические исследования обязательно предусматривают проведение трех основных видов работ: опытно-методических, геоботанического картирования на некоторых закрытых площадях и составления для этих площадей индикационных карт (литоиндикационных, поисковых).

Опытно-методические геоботанические исследования выполняются в небольшом объеме на участках эталон-контроль. В качестве эталона при решении задач геологического картирования изучается растительность наиболее типичных и хорошо геохимически охарактеризованных горных пород, визуальное картирование которых здесь на значительной площади затруднено из-за мощного чехла рыхлых образований. Контролем в этом случае выступает растительность горных пород резко отличного состава.

В случае привлечения геоботанических данных к решению поисковых задач в качестве эталона изучается растительность наиболее типичных для региона рудопроявлений и месторождений полезных ископаемых. Контролем в этом случае будет растительный покров участков, сложенных аналогичными, но безрудными породами.

По результатам опытно-методических исследований составляются индикационные таблицы. Это — таблицы, в которых различным индицируемым условиям (определенным горным породам, рудной минерализации) даны их геоботанические критерии, т. е. отражена корреляционная зависимость между растительностью и средой (табл. 1, 2).

В качестве примеров индикационных таблиц приведем таблицы, составленные по результатам опытно-методических геоботанических исследований в двух резко различных по природным условиям регионах — таежных районах Приамурья (север Хабаровского края) и зоне сухих степей и полупустынь Центрального Казахстана. Из табл. 1 видим, что в условиях Приамурья лиственничники лишайниково-брусничные и лишайниково-багульниковые с рододендроном и березкой Миддендорфа характерны для песчано-сланцевых отложений юры, лиственнично-еловый мохово-кустарничковый лес — для липаритов мелового возраста. Аномальные формы лиственницы (низкорослые, штамбовые) и разреженный лиственничник — для окварцованных липаритов жерловой фации, а заросли ольховника — для зон тектонических разломов, часто не выраженных в рельефе.

Таблица 1

Литоиндикационная таблица (связь растительности с горными породами в условиях таежной зоны на западе Хабаровского края)

Индицируемые условия			Характерные растительные сообщества	Индекс сообществ
горная порода	характер рельефа	мощность рыхлых отложений, м		
Песчано-сланцевые отложения (I)	Крутые склоны и верхние части склонов	0,2—0,3	Лиственничник лишайниково-брусничный	I_1
	Пологие склоны и нижние части склонов	0,5—0,7	Лиственничник кустарничково-кустарниковый	I_2
Лиапариты (Cr)	Полого-увалистый рельеф	0,3—0,4	Лиственничник еловый мохово-кустарничковый	II
Окварцованные лиапариты жерловой фации	Вершина сопки	—	Участок сильно разреженной растительности	III_1
	Крутые склоны	0,1	Участок распространения аномальных форм лиственницы	III_2
Современные аллювиальные отложения	—	—	Елово-тополевые травяные леса с рябиной, черемухой и розой	IV
Тектонические нарушения	Узкий прямоугольный лог	2—2,5	Лиственничные и лиственнично-еловые леса повышенного бонитета со значительным участием ольховника	V

В пределах зоны сухих степей и полупустынь Центрального Казахстана (табл. 2) целый ряд видов растений и некоторые растительные сообщества индицируют участки гидротермально-измененных горных пород, несущих рудную минерализацию. Так, качим — индикатор меди в условиях Рудного Алтая и в Центральном Казахстане является индикатором медных руд, локализованных в различных горных породах (известняках, гранодиоритах, кварцевых порфирах).

Площади распространения свинцово-медной минерализации индицируются по сильно разреженным сероземно-полынно-эфедровым сообществам с господством аномальных форм эфедры. К участкам скарнированных известняков с рудной минерализацией существенно свинцового состава приурочены очень разреженные сообщества из микроформ полупустынных полукустарничков (прутняка, биюргуна, полыни черной).

Для оруденелых (с полиметаллической рудной минерализацией) разностей известняков ордовика характерно отсутствие *Caragana* Bongardiana — вида, господствующего и пышно развитого на аналогичных, но безрудных известняках.

Таблица 2

Связь растительности с горными породами и рудной минерализацией в зоне сухих степей и полупустынь Центрального Казахстана

Индицируемые условия			Индикаторные признаки растительности			
Полезные ископаемые, геологические условия		Мощность рыхлых отложений, *м*	Флористические	Фитоценотические	Морфологические	Фенологические
Cu	Скарнированные известняки; гранодиориты, эффузивы С—Д	0,3—1,5	Господство *Gypsophila* Patrinii (качим), иногда с *Potentilla acaulis*	—	Узколистность или уплощенность листьев качима	Раннее цветение качима
Cu (Pb)	Окварцованные и скарнированные известняки, линзы с медью по эффузивам	0,3—2.0	Синузии *Artemisia glabella* с *Festuca sulcata*. Сообщества: *Gypsophila* Patrinii с *Alyssum tortuosum, Dianthus* sp.	—	Аномальная (желтоватая) окраска листьев полыни и типчака (голубоватая)	—
Pb	Скарнированные известняки	0,5—2	Господство полыни черной (*Artemisia pauciflora*) с прутняком (*Kochia prostrata*) и биюргуном (*Anabasis salsa*)	Разреженность (5—10% пр. покрытие); низкорослость	—	Недоразвитость вегетативных и генеративных побегов
Pb (Zn, Cu)	Окремненные известняки, зоны баритизации по эффузивам	0.5—3 — 5 (10)	Смесь синузий *Anabasis salsa, A. truncata, Nanophyton erinaceum, Kochia prostrata*	Разреженность (10—5% пр. покр.); низкая (2 балла) жизненность растений	Аномальная (бордо) окраска стеблей *Anabasis salsa*	Позднее цветение ряда видов растений
Pb—Cu (Zn)	Известняки, эффузивы	3—5	Сообщества *Artemisia terrae, albae, Ephedra distachya*	Разреженность (10—15%) или отсутствие растений (при Pb в почве>1%)	Аномальные формы эфедры — ветвление и очень обильное плодоношение	—

	Известняки ордовика	1—2	Отсутствие *Caragana Bongardiana*	Разреженность (10—15% пр. покр.)	—	—
Mo	Окварцованные породы	0,3—5 (10)	Комплекс сообществ (полынно-кокпековых с биюргунно-тасбиюргунными синузиями)	Разреженность (10—15%), угнетенность (жизн. 2—3); слабое развитие генеративных побегов	Аномальная окраска стеблей караганы полукустарничковой и тас-биюргуна. Аномальные формы гультемии (ветвление, расположение листьев)	—
W	Гидротермально измененные сланцы; кварциты	0,3—1,5	Господство *Astragalus declinatus*	Микроформы полыни, типчака	Обильное галлообразование на побегах полыни холодной	—
Зоны тектонических нарушений	Центральный Казахстан	В рельефе не выражены или слабо выражены	Кустарниковые заросли (*Spiraea hypericifolia, Caragana Balchaschensis*) с мезофильным разнотравьем	Сомкнутые (100%) сообщества; жизненность растений 4—5	Крупные формы (1,5—2,5 *м*)	—
	Приамурье		Заросли ольховника	То же	Крупные формы (3,5 *м*)	—

Участки с редкометальной минерализацией характеризуются распространением определенного комплекса сообществ растений (сероземно-полынно-кокпековых с биюргунно-тас-биюргунными синузиями), с существенно вольфрамовой минерализацией — господством *Astragalus declinatus*.

После этапа опытно-методических геоботанических исследований на той части площади, где, по мнению геологов, обычные геологосъемочные и поисковые работы не дадут должного эффекта, производится геоботаническое картирование с составлением схематической или уточненной карты растительного покрова.

На этой карте показывается распространение по площади всех зафиксированных здесь растительных сообществ, реже— распространение отдельных видов — индикаторов или различных аномальных форм растений (рис. 1) без указания индикационного их значения.

Результатами геоботанического картирования в условиях резко пересеченной местности могут являться эколого-фитоценотические профили, на которых показывается распространение растительных сообществ (комплексов сообществ, видов растений и т. д.) в зависимости от изменения геолого-геоморфологических условий среды.

В дальнейшем производится интерпретация фактического материала, показанного на карте (схеме) растительности, с составлением индикационной (литоиндикационной, поисковой) карты (рис. 2); осуществляется это с учетом данных индикационных таблиц.

Индикационные карты — это специализированные геоботанические карты, на которых контуры распространения растительных сообществ (или серии их) интерпретированы с точки зрения связи их с определенными горными породами или рудной минерализацией (Викторов, 1962; Поликарпова, 1967).

Легенда таких карт строится на индикационном принципе: в ней отмечаются все выделенные на карте и обозначенные условными индексами (римскими цифрами) растительные сообщества (серии их и т. д.), а также характер условий их произрастания (литология пород, тип рудной минерализации). В связи с этим легенда несколько перегружена текстом.

В качестве примера индикационных карт приведем литоиндикационную карту, составленную для одного из таежных районов Приамурья, и комплексную поисково-литоиндикационную карту одного из перспективных на редкометальную (Мо) минерализацию участков зоны сухих степей и полупустынь Центрального Казахстана (рис. 3). В первом случае растительный покров (его состав, особенности строения) позволяют судить о геологическом строении закрытых (залесенных) площадей и о наличии здесь зон тектонических нарушений, слабо выраженных в рельефе.

Во втором — в зоне сухих степей и полупустынь Центрального Казахстана, на площади развития довольно мощного (2—5 до 10 *м*) чехла рыхлых супесчано-суглинистых отложений, геоботаническими контурами практически выделены границы различных геологических образований и потенциально перспективный на редкометальную минерализацию участок (по распространению здесь определенного комплекса растительных сообществ: сильно разреженных полынно-кокпековых с синузиями биюргунно-тас-биюргунного состава на фоне ковыльной степи).

Эффективность геоботанического метода в решении геологических задач заметно повышается при предварительном дешифрировании аэрофотоснимков. Опознавание на аэрофотоснимках по ряду признаков видов растений и растительных сообществ с учетом связи их с рельефом и горными породами позволяет выделять осадочные и магматические породы, характер залегания пород и т. д.

Основным условием успешного применения геоботанических исследований для решения геологических задач является ведение их специалистом — ботаником, хорошо знающим флору и растительность района

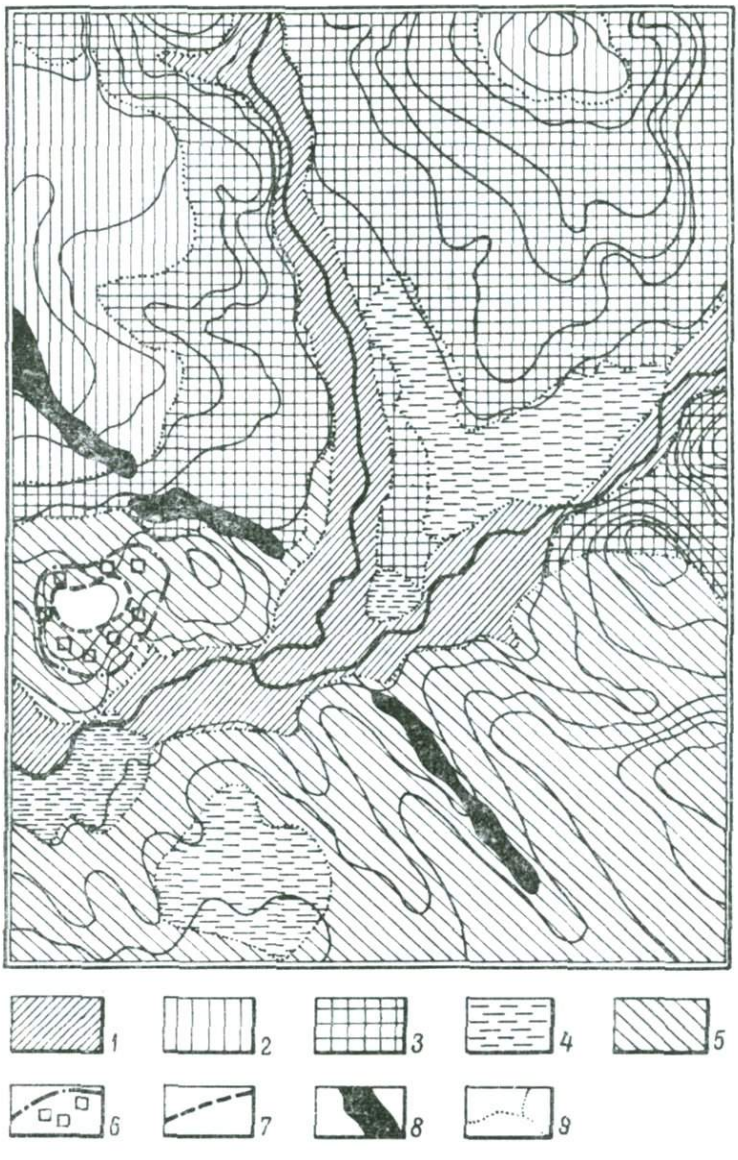


Рис. 1. Схематическая карта растительности. М-б 1 : 25 000. Таежный район.

Растительные сообщества (*1—5*): *1* — елово-тополевые травяные леса с черемухой и розой; *2* — лиственничник лишайниково-брусничный; *3* — лиственничник голубично-багульниковый с рододендроном и березкой Миддендорфа; *4* — заболоченное лиственничное редколесье; *5* — лиственнично-еловый мохово-багульниковый лес. *6* — участок распространения аномальных *форм растений*; *7* — *участки распространения разреженной растительности*; *8* — участки интенсивного развития растительности; *9* — границы распространения растительных сообществ.

работ, который сможет разобраться в том, какие изменения в растительном покрове обусловлены климатическими факторами, а какие — геолого-геохимическими особенностями среды.

К сожалению, далеко не всегда при производстве геологосъемочных и поисковых работ руководящими индикаторными признаками мо-

гут быть различные внешние изменения растительности (флористические, морфологические, фенологические, фитоценотические). Нередко

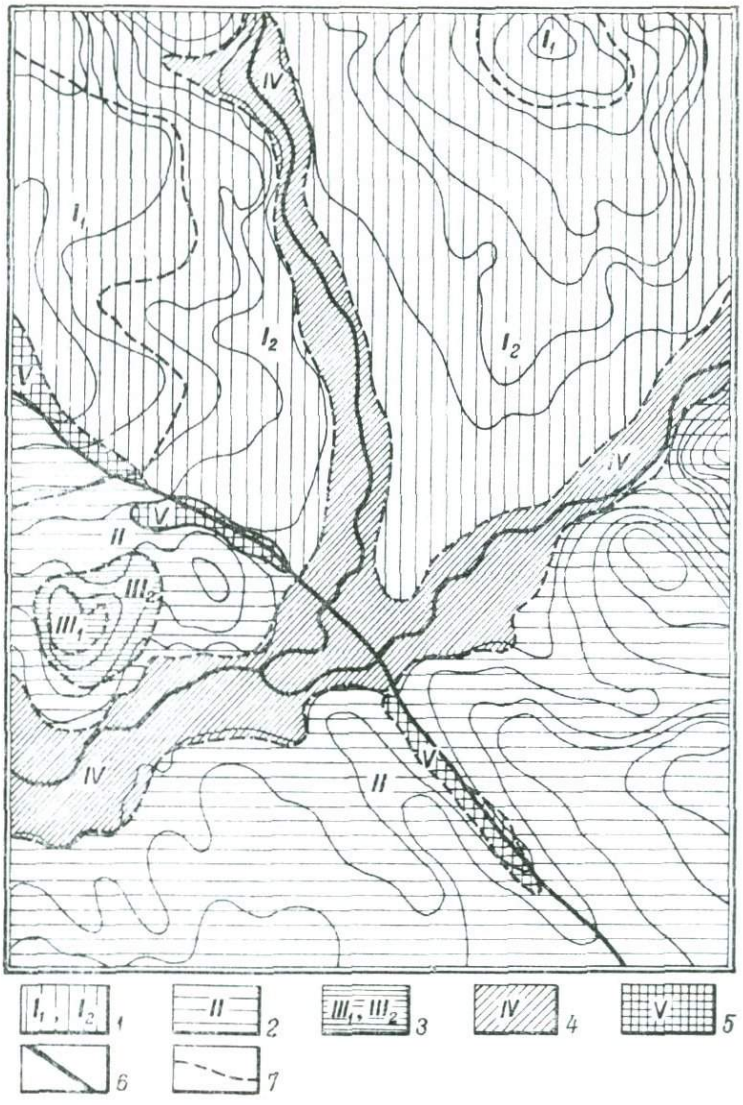


Рис. 2. Литоиндикационная карта. М-б 1 : 25 000. Таежная зона в условиях Хабаровского края. Растительные сообщества, типичные для отдельных литологических разностей горных пород (*1—5*).

1 — лиственничники лишайниково-кустарничковые (I_1) и кустарничково-кустарниковые (I_2), характерные для песчано-сланцевых отложений юры; *2* — лиственнично-еловые моховс-кустарничковые леса, характерные для эффузивов (*II*); *3* — аналогичные по составу, но сильно разреженные растительные сообщества (III_1) с участками распространения аномальных форм лиственницы (III_2) по окварцованным липаритам жерловой фации; *4* — елово-тополевые травяные леса с рябиной, черемухой и розой, приуроченные к современным аллювиальным отложениям (*IV*); *5* — участки лиственничного и лиственнично-елового леса повышенного бонитета с сосгосподством ольховника, индицирующие зоны тектонических нарушений; *6* — тектонические нарушения; *7* — границы распространения растительных сообществ.

в этой роли могут выступать только особенности элементарного (химического) состава растений. И тогда к решению геологических задач привлекается биогеохимический метод. С его помощью решают

в настоящее время преимущественно поисковые задачи, т. е. на основе анализа распределения в растениях химических элементов, главным образом элементов-индикаторов руд, производится оконтуривание перспективных на руды площадей.

Основой биогеохимического метода поисков (и съемки) является наличие значительного соответствия в распространении и концентрации

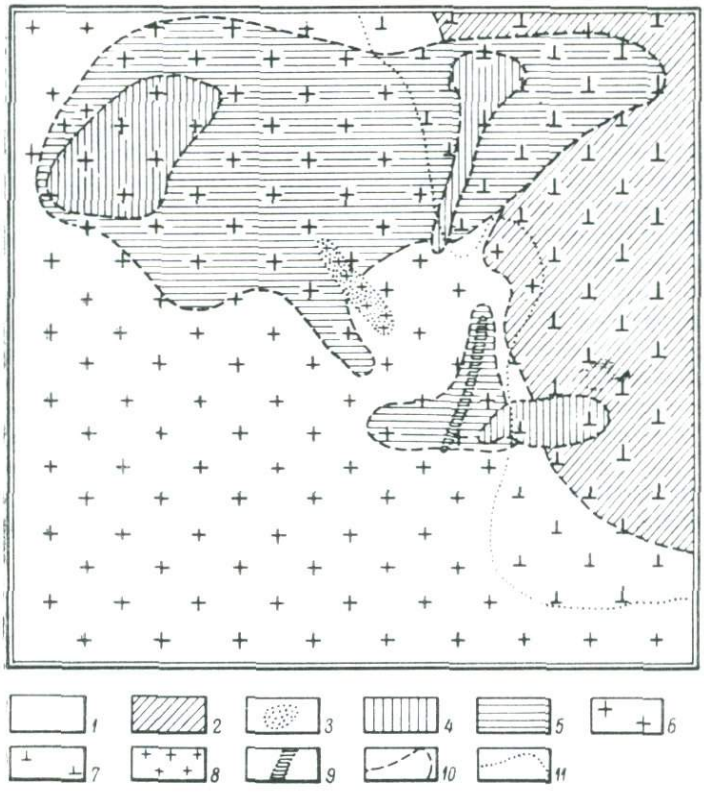


Рис. 3. Геоиндикационная карта участка, сложенного магматическими горными породами. М-б 1 : 5000.

Растительные сообщества (*1—5*): *1* — сомкнутые типчаково-ковыльно-сероземнополынно-кустарниковые (спирея, карагана полукустарничковая) по неизмененным гранитам; *2* — разреженные биюргунник с чернополынно-кокпековыми синузиями и камфоросмой по основным породам; *3* — типчаково-холодно-сероземнополынные по дайкам серицитизированных гранитов; *4—5* — разреженные сероземнополынно-кокпековые *с биюргунно-таебнюргунными синузиями (4) или разреженные* сероземнополынно-кокпековые (*5*) по гидротермально измененным породам с молибденовой минерализацией. Горные породы (*6—9*): *6* — неизмененные граниты; *7* — основные породы; *8* — серицитизированные граниты; *9* — кварцевая жила. Прочие знаки (*10—11*): *10* — контуры распространения растительных сообществ; *11* — границы геологических образований.

многих химических элементов и в том числе элементов руд в системе порода — растения и как результат этого соответствия — очень высокие содержания элементов руд в растениях, произрастающих на площадях рудных месторождений.

Наличие соответствия в распространении и концентрации многих химических элементов в системе порода — растения доказано большим фактическим материалом целого ряда исследователей, таких, как А. П. Виноградов (1935), Х. Е. Хокс и Дж. С. Уэбб (1964), Д. П. Малюга (1963) и др.

О наличии соответствия концентраций многих химических элементов в системе порода — наземные растения позволяют судить также и

коэффициенты соответствия концентраций (K_m). Коэффициент соответствия концентраций предложен Е. Е. Беляковой (1970). Вычисляется он как отношение содержаний химических элементов в породе (кларков пород, региональных или локальных средних) к соответствующим концентрациям их в растениях (кларкам растений континентов, региональным или локальным средним растений — КРК, РКР). Он показывает, какая доля элемента усваивается из горных пород (табл. 3).

На основании коэффициента соответствия (K_m) выделяются четыре группы химических элементов: I — элементы с высокой степенью соответствия концентраций в системе порода — растения ($1<K_m\leqslant10$); II и III — элементы с малой ($10<K_m\leqslant100$) и очень малой ($K_m>100$) степенью соответствия концентраций в системе порода — растения; IV — элементы активного биологического поглощения ($K_m<1$), степень соответствия концентраций которых в системе порода — растения обычно высокая, но определяется преимущественно физиологическими функциями этих элементов.

Степень соответствия концентраций большинства химических элементов в системе порода — растения отдельных регионов аналогична таковой для континентов в целом (табл. 3). Региональные отклонения вызываются исключительно геохимическими и металлогеническими особенностями горных пород. Так, в Джунгаро-Балхашской провинции с широко распространенной редкометальной и полиметаллической минерализацией, с хорошо развитыми зонами окисления в группу элементов активного биологического поглощения переходят Pb, W, Bi и K. Повышается степень соответствия концентраций в системе порода — растения у меди, марганца, циркония, галлия, иттрия.

На территории Западного Тянь-Шаня, где развита преимущественно молибденово-медная и отчасти полиметаллическая минерализация, а также магматические образования герцинского времени с повышенной калиеносностью, в группу элементов активного биологического поглощения переходят Pb, Sn, K; повышается степень соответствия концентраций в системе порода — растения у Cu, Fe, снижается — у нехарактерных для этого региона элементов — Ti, V, Cr и Co.

Следовательно, наличие высокой степени соответствия концентраций большинства химических элементов в системе порода — растения в условиях континентов в целом и отдельных регионов в частности позволяет использовать элементарный (химический) состав растений для суждения о геохимических особенностях горных пород, о их металлоносности.

Наиболее целесообразно привлечение биогеохимического метода к решению поисковых задач на закрытых площадях.

Полевые биогеохимические исследования проводятся в два этапа. Опытно-методические исследования (I этап) осуществляются в небольшом объеме на уже известных, типичных для района съемки рудопроявлениях и месторождениях и на хорошо геохимически охарактеризованных горных породах, визуальное картирование которых здесь на значительной площади затруднено. Проводятся эти исследования с целью выявления наиболее пригодных для биогеохимического опробования видов и частей растений и установления наилучших сроков ведения этих работ (весна, лето, осень).

В период опытно-методических исследований для наиболее распространенных в районе работ видов многолетних растений определяются видовые * («локальные») средние и поисковые (или литоиндикацион-

---

* Под видовыми локальными средними понимаются средние содержания химических элементов в пробах определенного вида растений, отобранных в пределах ограниченной площади, сложенной одним типом горной породы (граниты, базальты и т. д.)

Таблица 3

Степень соответствия концентраций химических элементов в системе горная порода — наземные растения

Группы химических элементов	Значения K_m^*	Характер распространения химических элементов в системе порода — растения				
		для континентов в целом; $K_m = \frac{K_{max}}{КРК}$	зона сухих степей и полупустынь Центрального Казахстана	пояс субтропических степей и арчевников Западного Тянь-Шаня	зона хвойных и лиственных пород	
					Верхнее Приамурье	Нижнее Приамурье
Соответственно распространенные в системе порода — растения	$1 < K_m \leqslant 10$	$K_1Na_{1,5}Cl_{1-4}Pb_2Sn_2Ca_2$ $Ba_{1-2}Si_{2-5}Sr_3Be_3V_3Mg_4$ $As_5Li_{5,5}U_7Al_{7,5}Cr_8Ti_9$ $Cs_{1-10}Fe_{10}Cd_{10}M\ Bi$	$Na_1Cu_1Mn_2Be_2Sr_2Ba_2$ $Zr_2Al_3Ga_{3,5}Si_4La_4Ca_4$ $Fe_5Ti_7V_{10}$	$Mn_1Yb_1Al_2Be_2Na_2Ba_2$ $Fe_{2,5}Mg_3Si_5Zr_{6,5}Ti_{10}$	$Al_2Cu_{2,5}Si_4Ca_4$ Na_6Zr_9	$Sr_1Na_2Cu_{2,5}Al_3$ $K_3Si_5Mg_6Ca_9$
Слабая степень соответствия распространения в системе порода — растения	$10 < K_m \leqslant 100$	$Cs_{10-12}Co_{13}Ni_{40}Ti_{80}F_{80}Zr?$ $Ga?$	$Y_{11}Mg_{16}Co_{47}Cr_{95}$	$Zn_{19}Cr_{22}Ni_{33}V_{69}$	$Mg_{11}Ti_{30}$	$Pb_{20}Zr_{28}V_{40}Fe_{49}$ Ti_{90}
Нетождественно распространенные в системе порода — растения	$K_m > 100$	$Hg_{400}Y?$	Ni_{111}	Co_{400}	$Ni_{160}Fe_{197}$	Ni_{200}
Элементы активного биологического накопления	$K_m < 1$	$Au_{0,005}J_{0,02}P_{0,02}S_{0,06}$ $Ag_{0,1}Mo_{0,1}Zn_{0,1}Mn_{0,3}$ $B_{0,3}Cu_{0,5}$	$Bi_{0,02}Mo_{0,1}Ag_{0,2}P_{0,4}$ $W_{0,5}Pb_{0,5}K_{0,7}Zn_{0,9}$	$Ag_{0,02}Mo_{0,1}Pb_{0,3}K_{0,3}$ $Sn_{0,7}Cu_{0,9}$	$Mn_{0,05}P_{0,1}Sr_{0,2}$ $Ba_{0,2}K_{0,3}Zn_{0,8}$	$Mn_{0,08}P_{0,2}Ba_{0,2}$ $Zn_{0,9}$

Примечание: $K_m^* = \frac{C_{пород}}{C_{растений}}$ — коэффициент соответствия; K_{max} — максимальный кларк пород земной коры; КРК — кларк растений континентов (Малюга, 1963); K_1Na_1 — числа при символах химических элементов выражают величину коэффициента соответствия концентраций.

ные) биогеохимические ассоциации. Ассоциации устанавливаются методом сопоставления различных средних: видовых средних концентраций элементов в растениях с кларками наземных растений (Малюга, 1963) со средними соответствующих горных пород и с кларками пород континентов (Виноградов, 1964).

Биогеохимические ассоциации (поисковые, литоиндикационные) могут быть определены также методом многоступенчатого корреляционного анализа, позволяющего сделать это на основании изучения связей между химическими элементами в растениях (золе).

Корреляционный многоступенчатый анализ осуществляется на электронно-вычислительной машине. В результате вычислений в одну ассоциацию включаются элементы (группа) с высоко положительными корреляционными связями (2, 3, 4, 5 и т. д. порядка) (Боровиков, Бурков, 1968).

Анализ корреляционных связей между концентрациями элементов в золы сероземной (рис. 4) с рудных участков (*б*) и фоновых площадей (*а*) позволил выделить две группы химических элементов: химические элементы с постоянно устойчивыми связями, не зависящими от внешних условий (Cr, Zr, Ti, V), и химические элементы с неустойчивыми связями. Степень связи и положение их в группах меняется в зависимости от изменения внешних условий — это Ba, Pb, Zn. Эта группа химических элементов, сила связи между которыми значительно возрастает в пробах растений с рудных площадей, фактически составляет здесь группу поисковых элементов полиметаллических руд.

После этапа опытно-методических биогеохимических исследований по рекомендации геологов на площадях, где обычная металлометрия может оказаться неэффективной, ставят биогеохимические поиски с отбором проб растений по профилям, ориентированным вкрест простирания основных геологических структур или по изогипсам рельефа (в горных районах). Пробы растений (зола) анализируются спектрографически на 42—44 химических элемента. Результаты этапа биогеохимических поисков оформляют в виде карт. Биогеохимические карты составляются на геологической основе или в виде калек, накладываемых на геологическую основу. Вариантами биогеохимических карт являются: 1) моноэлементные карты изоконцентрат; 2) моно- или полиэлементные карты коэффициентов концентрации элементов; 3) моно- или полиэлементные карты кларков концентрации и прогнозные биогеохимические карты. Первый вариант — общепринятый, два других — предлагаются нами. Для одних и тех же площадей нами составлялись все три варианта биогеохимических карт, с тем, чтобы оценить геохимическую информацию каждого из вариантов.

1. Карты изоконцентрат — наиболее простой вариант биогеохимических карт. Содержания элемента в растениях определенного вида показываются на них в абсолютных значениях. Изолиниями выделяются участки распространения растений с концентрациями искомого элемента в выбранных диапазонах. Карты изоконцентрат, как правило, моноэлементны и, следовательно, не дают детальной геохимической характеристики изучаемого участка.

2. Несколько более совершенным вариантом биогеохимических карт являются карты коэффициентов концентрации (или карты коэффициентов аномальности концентраций) элементов в растениях участка. Содержания искомых элементов (или элемента) в растениях показываются на них не в абсолютных значениях, а в концентрациях, кратных видовому среднему этих растений, т. е. выражены в коэффициентах концентрации (или, по терминологии С. М. Ткалича (1961), в коэффициентах аномальности). Вычисляются коэффициенты концентрации, как правило, для целого ряда химических элементов. В результате в первоначальном варианте карты для каждого из пунктов био-

геохимического опробования определяется и записывается группа химических элементов, распространенных в растениях в положительно аномальных, по сравнению с видовыми средними, концентрациях, т. е.

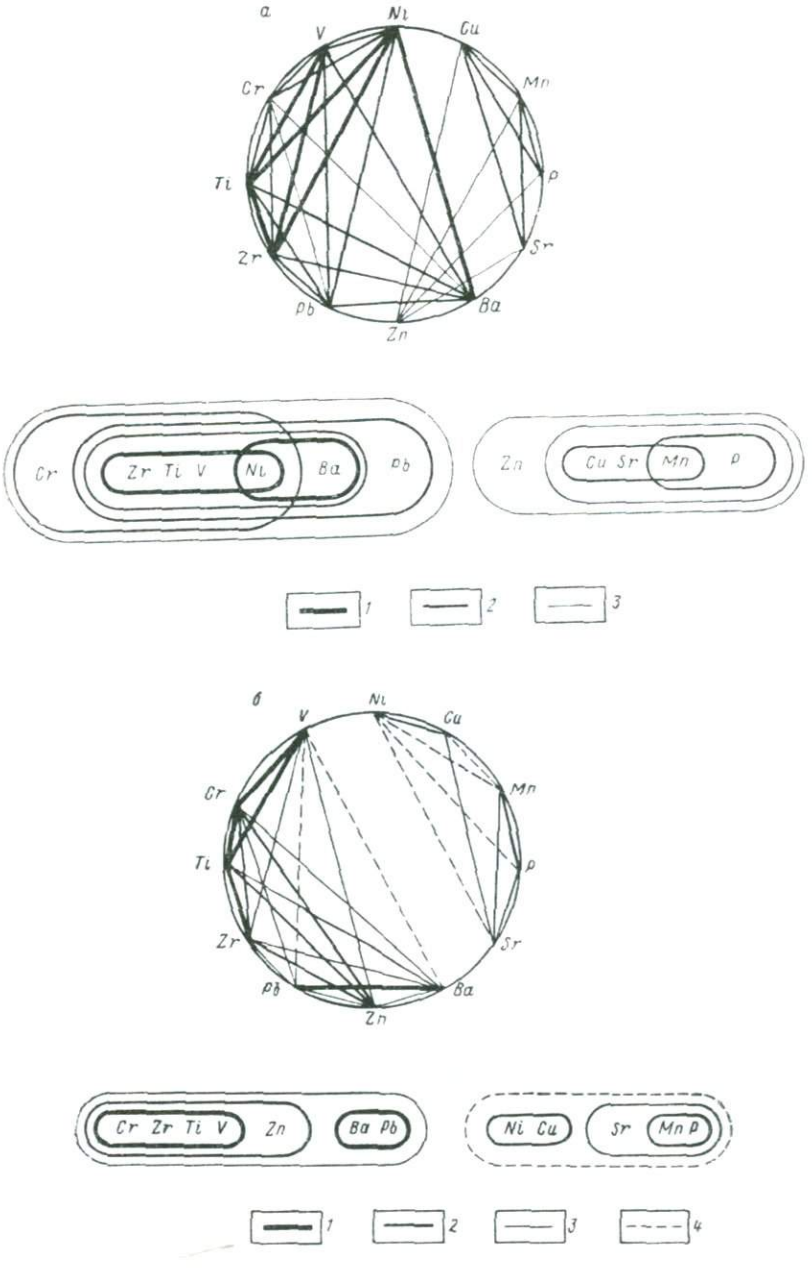


Рис. 4. Ассоциации химических элементов в полыни сероземной (Artemisia terrae albae) на неизмененных известняках (*а*) и на скарнированных известняках с полиметаллической минерализацией (*б*).

1, 2, 3, 4 — порядок (сила) связи между химическими элементами.

элементы с коэффициентами концентрации, большими единицы. Перед символами элементов группы ставится значение коэффициента концентрации его. В группе элементы располагаются в порядке уменьшения величин коэффициента концентрации. Химические элементы в фоновых

содержаниях, т. е. с коэффициентами концентрации, равными единице, в группу либо не записываются, либо записываются в самом конце путем простого перечисления.

В дальнейшем точки со сходными группами химических элементов объединяются (предусматривается сходство и по элементарному составу, и по коэффициентам концентрации элементов в группе). В итоге

а

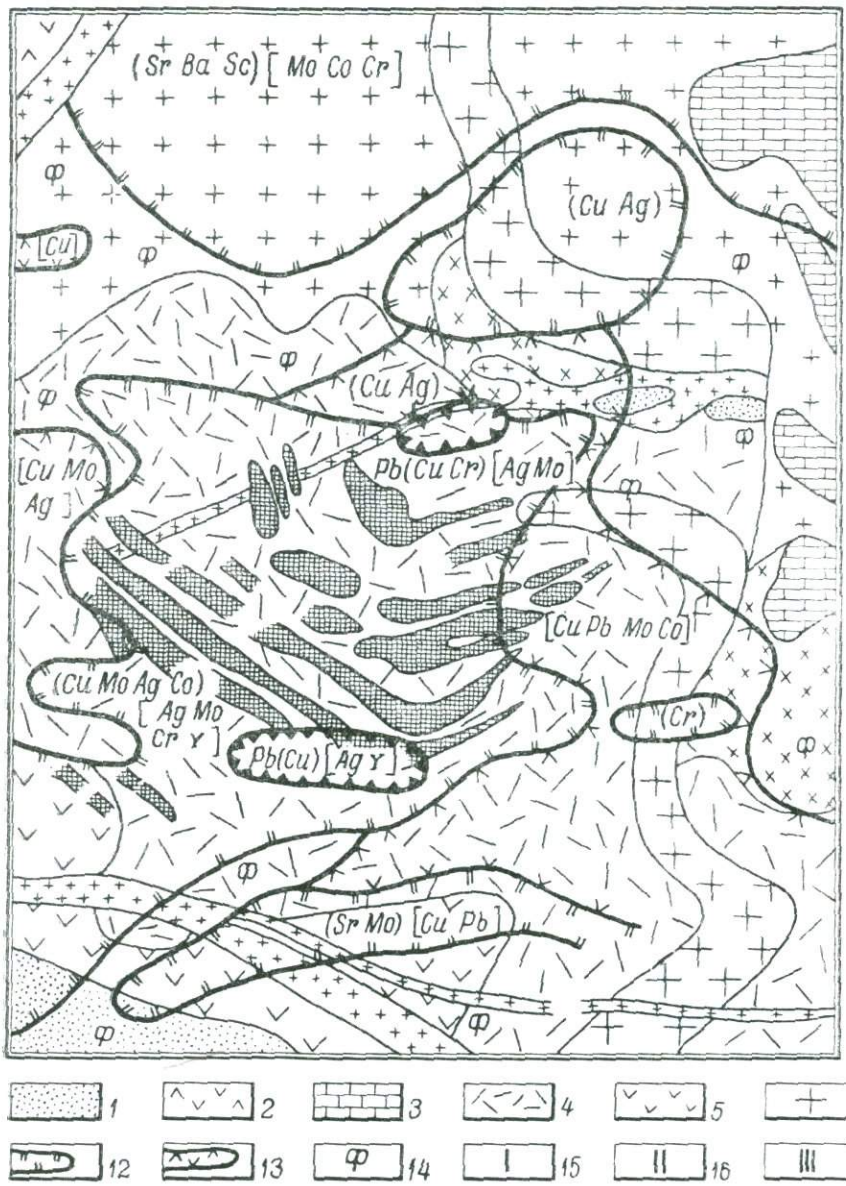
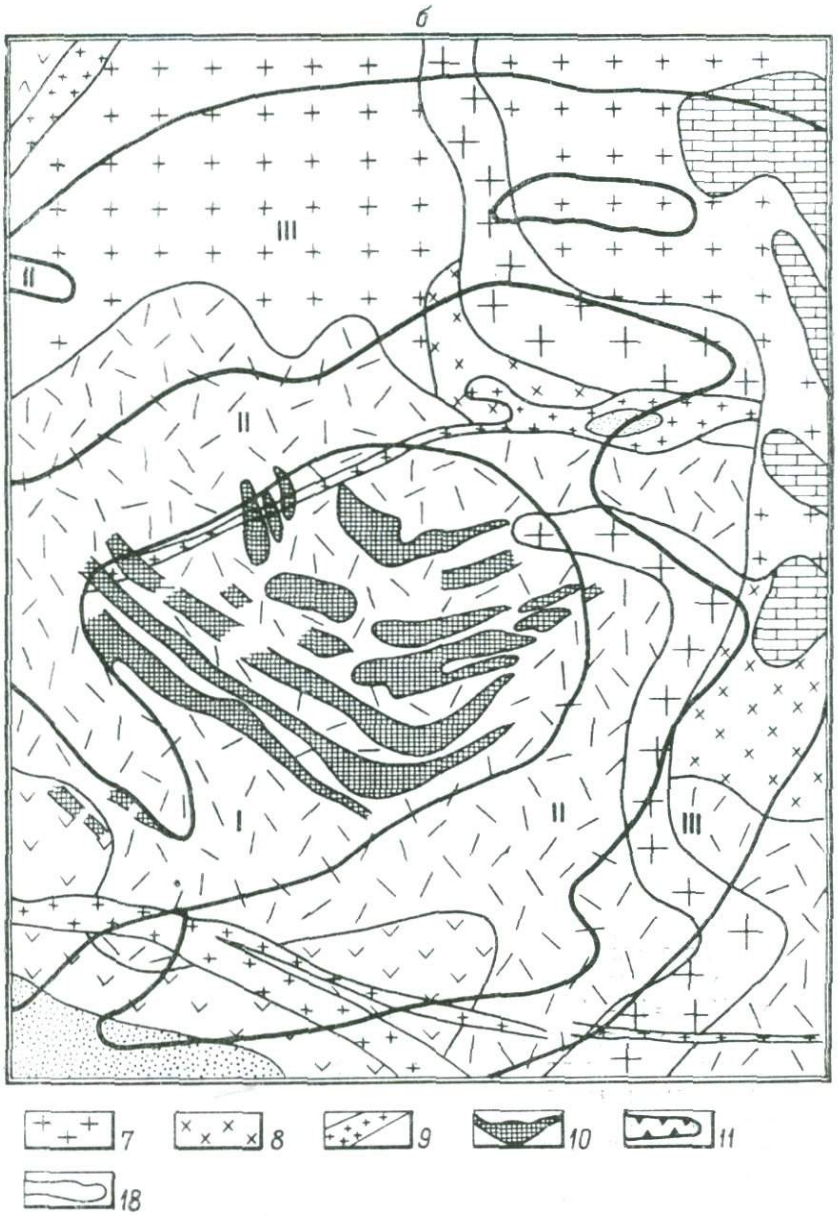


Рис. 5. Биогеохимические полиэлементные карты медно-молибденового фициентам

Геологическое строение (*1—10*): *1* — четвертичные аллювиальные отложения; *2* — анде кварцевые порфиры и их туфы D_1^2; *5* — андезитовые порфиры и их туфы D_1^1; *6* — гра Чеку $\gamma\sigma\pi C_3$; *8* — гранодиорит-порфиры серые $\gamma\sigma\pi D_1$—D_2; *9* — дайковый комплекс; кларкам концентрации (*11—14*): *11* — максимально-аномальные (биогеохимическая ано ио-аномальные (биогеохимический ореол рассеянной минерализации); *14* — фоновые ниях по коэффициентам аномальности (*15—17*): *15* — слабая биогеохимическая анома 1,5Ba, 1,5Zr); *16* — то же по молибдену и сопутствующим элементам (3Mo 1,6—2,5Cu, 2Ag, 1,5 Ba, 1,5Sr, 1,5Zr); *18* — границы

для площади, где произведен отбор растений, составляется биогеохимическая карта с показом на ней участков распространения различных по интенсивности и элементарному составу биогеохимических аномалий. Биогеохимические аномалии с коэффициентами концентрации элементов в пределах 1,5—3 (до 10) оцениваются как слабые, с коэффициентами концентрации 10 и более — как интенсивные (Ткалич, 1959,



месторождения Сары-Чеку: *а* — по кларкам концентрации; *б* — по коэф- аномальности.

зито-дацитовые порфиры и их туфы C_2ak_1; *3* — песчаники и известняки $D_2gv_2^2$; *4* — нодиорит-порфиры Гушсайского типа $\gamma\sigma\pi\ C_3$; *7* — гранодиорит-порфиры розовые Сары- *10* — рудное тело. Категории концентрации химических элементов в растениях по малия); *12* — среднеаномальные (биогеохимический ореол рассеяния); *13* — минималь- (биогеохимический фон). Степень аномальности концентраций элементов в расте- лия по меди и сопутствующим элементам (2,5—3Cu, 3Pb, 2Ag, 6V, 2Fe, 2Ti, 1,5Mo, 2Ag, 2Ti, 1,5Ba, 1,5Zr, 3Ga); *17* — то же по сопутствующим элементам (3Fe, 6Ti, геологических образований.

1961). Способ выражения содержаний элементов в коэффициентах концентрации позволяет едиными изолиниями оконтуривать участки разновидового опробования, так как сравнение отдельных (попунктных) значений содержаний элементов производится с видовыми средними концентрациями их.

В качестве примера такой биогеохимической полиэлементной карты может быть приведена карта, составленная для одного из медно-молибденовых рудопроявлений Средней Азии (рис. 5, *б*). Анализ групп химических элементов, выделенных по коэффициентам концентрации, позволил произвести прогнозную оценку площади на основании данных биогеохимической съемки. Выделены аномалии по ведущим элементам руд, по ведущим и сопутствующим или только по второстепенным элементам. На площади известного месторождения даже слабые биогеохимические аномалии соответствуют рудным телам. Но даже и в этом случае более (рис. 5, *а*) полную геохимическую информацию дает вариант построения биогеохимических карт методом кларков концентрации (Белякова и др., 1970), т. е. методом сравнения данных биогеохимического опробования с кларками горных пород (соответствующих генетических разностей их, максимальным кларком) и кларком сульфидов с учетом кларков и региональных средних растений. Этот метод наиболее применим для оценки степени обогащенности растений характеризуемой территории химическими элементами, распространенными в системе порода — растения с высокой степенью соответствия (тождественно, $K_m = 1-10$).

По кларкам концентрации выделяются категории концентрации химических элементов в растениях: нормальные концентрации, или нормальный биогеохимический фон; минимально-аномальные концентрации, или ореол рассеянной минерализации; среднеаномальные концентрации, или ореол рассеяния рудного вещества; максимально-аномальные концентрации, или положительная биогеохимическая аномалия. Могут быть выделены и отрицательно-аномальные концентрации (отрицательные биогеохимические аномалии).

Для элементов, распространенных в растениях соответственно породам, под нормальными средними концентрациями (локальным биогеохимическим фоном) понимаются содержания их в растениях в количествах, меньших или равных кларку той генетической разности горных пород, на которых эти растения отобраны, т. е. $C_{эл} \leqslant$ ККП*. $C_{эл} \leqslant$ КОП** и т. д. Участки распространения растений с такими содержаниями элементов характеризуются как нормальный биогеохимический фон.

Минимально-аномальные концентрации таких элементов несколько (в 1,5—3 раза) превышают кларки соответствующей генетической разности пород ($C_{эл} = 1{,}5-3$ ККП и т. д.). Участки распространения растений с минимально-аномальными концентрациями характеризуются как биогеохимический ореол рассеянной минерализации (повышенный фон).

К среднеаномальным концентрациям их в растениях характеризуемого локального местообитания относятся концентрации, значительно превышающие (в 3—5 раз) кларки соответствующей генетической разности горных пород, но не достигающие максимального кларка пород земной коры (макс. $K > C_{эл} = 3-5$ ККП и т. д.). Участки распространения растений с такими концентрациями элементов характеризуются как ореолы рассеяния рудного вещества.

К максимально-аномальным концентрациям химических элементов в растениях локального местообитания относятся концентрации, равные (или более высокие) максимальному кларку пород земной

* Кларк кислых пород.
** Кларк осадочных пород.

коры или сульфидов (для халькофильных элементов): $C_{эл} \geqslant$ макс. К; $C_{эл} \geqslant$ К сульфидов (по Ноддакам).

Выделение аналогичных категорий концентраций для химических элементов, распространенных в растениях нетождественно горным породам, производится фактически по коэффициентам аномальности концентраций, т. е. на основании соотношения содержаний элементов в растениях точек (или локального местообитания) с видовыми средними их (региональными или кларками растений континента).

Методом кларков концентрации производится оценка каждого биогеохимически охарактеризованного пункта (или локального местообитания — по осредненным данным), определяется геохимическая формула пункта, т. е. определяется биогеохимическая ассоциация элементов, содержащихся в растениях в минимально-, средне- и максимально-аномальных концентрациях.

Степень аномальности (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 участка в среднеаномальных концентрациях, показываются 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 такой рабочей карты кларков концентрации создается карта кларков концентрации, на которой уже произведено объединение сходных по геохимическим формулам пунктов и показано распространение по площади биогеохимических аномалий, ореолов и биогеохимического фона (рис. 5, *а*).

Дальнейшая детализация оконтуренных площадей может дать прогнозную биогеохимическую карту, т. е. карту, на которой интерпретация результатов биогеохимического опробования произведена с точки зрения оценки перспективности участков на рудные полезные ископаемые. На прогнозной биогеохимической карте показываются, как правило, наиболее перспективные биогеохимические аномалии и ореолы по ведущим элементам руд с отражением генезиса выделяемых аномалий и ореолов (металлогенные — истинные, биогенные — накопительные). Могут детализироваться и участки биогеохимического фона.

ЛИТЕРАТУРА

Белякова Е. Е., Кронидова Т. Ф., Чернышова Р. И., Зуев А. В., Крамаренко Л. Е. Методические указания по геологической съемке м-ба 1 : 50 000 (1 : 25 000). Вып. 10. Гидрогеохимические исследования. Л., Недра, 1970.

Боровиков Л. И., Бурков Ю. К. Корреляционный анализ закономерностей распределения малых элементов для решения вопросов седиментогенеза. Сб. «Генезис и классификация осадочных пород». М., Наука, 1968.

Васильева Н. Н., Ульянов Н. К. Геоботанические исследования как метод поисков рудных месторождений в условиях Центрального Казахстана. Инф. сб. № 50, Л., ОНТИ ВСЕГЕИ, 1961.

Викторов С. В. Использование геоботанического метода при геологических и гидрогеологических исследованиях. М., Изд-во АН СССР, 1955.

Викторов С. В. Геоботанические индикационные карты и методы их составления. Сб. «Принципы и методы геоботанического картографирования», М.—Л., Изд-во АН СССР, 1962.

Викторов С. В., Востокова Е. А. Основы индикационной геоботаники. М. Госгеолтехиздат, 1961.

Виноградов А. П. Химический элементарный состав организмов и периодическая система элементов Д. И. Менделеева. Тр. Биогеохимической лаборатории АН СССР, т. III, М.—Л., 1935.

Виноградов Б. В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов. М., Высшая школа, 1964.

Корчагин А. А. Некоторые вопросы использования растительного покрова как индикаторов среды. Ботан. журн., т. 53, № 2, 1968.

Малюга Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений (принцип и практика поисков). М., АН СССР, 1963.

Несветайлова Н. Г. Геоботанические исследования при поисках рудных месторождений. Тр. ВАГТ, вып. 1, 1955.

Поликарпова Л. Д. Некоторые закономерности связи растительности с засолением почвообразующих пород на Устюрте. Уч. зап. Моск. пед. ин-та, № 257, 1967.

Ткалич С. М. Практическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1959.

Ткалич С. М. Биогеохимические аномалии и их интерпретация. Иркутск, 1961.

Хокс Х. Е., Уэбб Дж. С. Геохимические методы поисков минеральных месторождений. М., Мир, 1964.

УДК 550.8 : 528.94

А. И. Бурдэ

ПРИНЦИПЫ РАЦИОНАЛЬНОГО СОЧЕТАНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТАХ И НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Основным масштабом геологосъемочных работ в СССР сейчас стали м-бы 1 : 50 000—1 : 25 000, причем одновременно на первый план выдвинулся вопрос о повышении глубинности изучения районов съемки и проведении работ в закрытых районах. Повышение глубинности связано с необходимостью значительных затрат на горные и буровые работы, сократить которые возможно лишь при условии широкого использования геофизических, геохимических и других данных.

Применение различных видов исследований при геологосъемочных работах, наряду с повышением количества информации и ее качества и достоверности, неизбежно ведет к значительному повышению стоимости работ. Очевидно, что повышение стоимости имеет некоторые пределы, определяемые в первую очередь размерами экономически целесообразных затрат на все геологоразведочные работы. В связи с ограниченностью средств встает задача рационального их использования, а следовательно и рационального сочетания видов исследований на различных стадиях геологоразведочных работ.

Эта задача состоит из трех частей: а) определение рационального комплекса исследований; б) определение рациональной последовательности их проведения; в) определение рациональных форм организации работ. Каждая часть находится в различной стадии изучения и разработки.

Задача определения рационального комплекса исследований была четко сформулирована В. И. Красниковым применительно к поискам рудных месторождений (Красников, 1955, 1965). В последующем отдельные стороны этой задачи рассматривались Н. А. Беляевским (1962, 1963), В. В. Бронгулеевым (1964), А. Я. Дубинским и Ю. И. Сытиным (1968), В. К. Ереминым (1961), А. Н. Еремеевым (1966) и др. В литературе существует также довольно много описаний комплексов, применявшихся для изучения отдельных районов. Однако общей постановки задачи и разбора принципов и возможных путей ее решения никто из перечисленных исследователей не дал.

Определение рационального комплекса при геологосъемочных работах представляет частный случай определения рационального комплекса при геологоразведочных работах. Оно основывается на общих принципах геологоразведочного процесса: полноты исследования, последовательных приближений, равной достоверности, специализации, наименьших трудовых и материальных затрат и наименьших затрат времени. Применение этих принципов к геологосъемочным работам вообще и к определению рационального комплекса в частности имеет ряд особенностей.

Принцип полноты исследования означает обязательность наличия в комплексе видов работ, обеспечивающих выполнение следующих требований: а) необходимость изучения всей площади района; б) необходимость изучения всех основных сторон геологического строения территории: стратиграфии, тектоники, интрузивного и вулканического магматизма, метаморфизма и полезных ископаемых; в) необходимость все-

стороннего изучения пород, геологических тел и структур района, т. е. изучение их вещественного состава, физических свойств и полей, морфологии, внутренней структуры и т. п.; г) характеристику в необходимых случаях гидрогеологии, геоморфологии, инженерной геологии и других аспектов изучения природных условий, связанных с геологическим строением района.

Принцип последовательных приближений означает соблюдение определенной стадийности работ и необходимость разработки наиболее рациональной в условиях района последовательности проведения исследований, входящих в комплекс, а также наиболее рациональной последовательности выполнения отдельных операций каждого вида работ.

Из принципа равной достоверности следуют два требования. Во-первых, он требует равной достоверности изучения всех элементов геологического строения, что приводит к необходимости более детального изучения наиболее сложных и важных для решения задач съемки участков, а следовательно и включения в комплекс специальных работ по изучению отдельных участков. Во-вторых, он означает необходимость достижения заранее заданной точности проведения геологических границ на карте и соответствия точности определения геофизических и геохимических характеристик пород заранее заданным допустимым пределам.

Принцип специализации приводит к требованию углубленного изучения отдельных элементов геологического строения, имеющих важное научное или практическое значение. Для этого в ряде случаев необходимо включать в комплекс специальные виды исследований. На стадии геологосъемочных работ м-ба 1 : 50 000 этот принцип в первую очередь требует углубленного изучения полезных ископаемых и элементов геологического строения, контролирующих их размещение. Для других стадий геологической съемки соотношение поисков и съемки будет иным. Оно изменяется в зависимости от масштаба съемки и особенностей полезных ископаемых. Для примера в табл. 1 показано изменение этих соотношений при переходе от среднемасштабных к крупномасштабным геологосъемочным работам на поверхности в зависимости от генетического типа месторождений полезных ископаемых.

Перечисленные принципы определения рационального комплекса противоречат друг другу. Так принцип полноты исследования противоречит принципу специализации и наименьших затрат, принцип равной достоверности противоречит принципу специализации и т. п. В зависимости от конкретных условий предпочтение может быть отдано тому или иному принципу. Наиболее важными из этих условий являются:

а) тип района по геологическим условиям проведения геологосъемочных работ и комплексу полезных ископаемых;

б) формы проявления (поисковые признаки) и факторы контроля размещения месторождений (поисковые критерии);

в) экономические условия района — степень изученности и освоенности, наличие транспортных путей, энергетической базы, людских ресурсов и пр.;

г) геологические возможности, преимущества и недостатки, а также оптимальные условия применения как отдельных методов, так и их сочетаний;

д) геоморфологические, ландшафтно-геохимические и другие природные условия района.

Разнообразие перечисленных факторов и противоречивость ряда из них создают возможность решения одной и той же задачи с помощью различных сочетаний методов. В связи с этим задача определения рационального комплекса может рассматриваться как задача нахождения оптимального сочетания исследований при ограничениях, задаваемых принципами наименьших затрат, или как задача оптималь-

Таблица 1

Масштаб геолого-съемочных работ	Типы полезных ископаемых					
	жидкие и газообразные осадочного происхождения		твердые			
			осадочного и осадочно-метаморфогенного происхождения		магматогенного и метаморфогенного происхождения	
	Задачи изучения					
	поисковые критерии	полезное ископаемое	поисковые критерии	полезное ископаемое	поисковые критерии	полезное ископаемое
1 : 200 000 (1 : 100 000)	Выявление отдельных структур	Выявление косвенных признаков	Выявление продуктивных горизонтов, перспективных частей бассейнов и т. п.	Выявление перспективных участков и месторождений и попутное выявление и изучение отдельных тел полезного ископаемого	Выявление региональных критериев (продуктивные комплексы, тектонические зоны и т. п.), контролирующих размещение перспективных районов	Выявление перспективных районов и участков с прямыми признаками полезного ископаемого
1 : 50 000 (1:25 000)	Изучение отдельных структур	Выявление косвенных и иногда прямых признаков	Выявление элементов геологического строения, контролирующих размещение полезного ископаемого в пределах месторождения	Выявление месторождений и изучение основных тел полезного ископаемого	Выявление элементов геологического строения, контролирующих размещение отдельных месторождений и проявлений	Выявление перспективных участков с прямыми признаками полезного ископаемого и месторождений. Выявление и изучение отдельных тел полезного ископаемого

ного распределения имеющихся материальных, трудовых и временных ресурсов. Задачи подобного рода в экономике решаются с помощью методов математического программирования. Однако для применения этих методов необходимо количественно выразить основные требования к результатам геологической съемки, дать определение объема информации, достаточного для решения задачи геологической съемки, найти количественное выражение перечисленных принципов и условий и сформулировать критерии эффективности применения отдельных видов исследования и комплекса в целом. В настоящее время это не сделано, а поэтому невозможно и применение математических методов *.

В связи с этим сейчас приходится ограничиваться качественными представлениями о возможностях отдельных методов и на основе использования качественных характеристик этих возможностей выработать такую последовательность отбора видов исследования, которая обеспечивала бы возможно более полное выполнение требований к геологической съемке. Такую последовательность можно основывать на степени решения частных задач съемки, т. е. выполнения всех ее операций, создавая некое «сито», просеивающее методы исследования по степени их применимости в условиях конкретного района. В общих чертах эта последовательность выглядит следующим образом:

1 этап — отбор методов, применимых в условиях данного района по геологическим, природным и экономическим условиям;

2 этап — определение степени выполнения ими отдельных операций съемки;

3 этап — составление возможных комплексов для обеспечения возможно более полного выполнения всего перечня операций;

4 этап — добавление методов, необходимых для исследования отдельных участков и наиболее важных элементов геологического строения, определение объемов работ;

5 этап — сравнение комплексов по стоимости и времени проведения работ.

Естественно, что применение такого «сита» связано с широким использованием экстраполяции результатов применения отдельных методов или их сочетаний в соседних или аналогичных районах и на данных опытно-методических работ. Значение последних трудно переоценить.

При выборе комплекса используется ряд характеристик каждого вида исследований. Главнейшими из таких характеристик являются применимость метода в условиях района и к данной операции, качество информации (прямая или косвенная), скорость и стоимость ее получения. При использовании этих характеристик для каждого этапа выбора комплекса можно предложить простые эмпирические правила, позволяющие отобрать необходимые виды исследования, составлять различные комплексы и отбирать из них наиболее пригодные в условиях района.

Изложенная последовательность выбора рационального комплекса была применена к определению ориентировочных типовых комплексов для различных районов, различающихся по условиям проведения геологосъемочных работ и комплексам полезных ископаемых согласно «Основным положениям . . .» ** (1968). В табл. 2 приведены результаты одной из стадий описанной последовательности — общая характеристика отдельных методов по степени выполнения операций геологической съемки. В результате исследований намечены ориентировочные типовые комплексы исследований для районов различного типа.

---

* Сейчас эти трудности частично преодолены и применение математических методов становится возможным.

** См. также доклад А. И. Бурдэ и Б. Н. Горбунова в настоящем сборнике.

Таблица 2

Виды исследований	Операции						
	составление легенды	выделение тел	прослеживание	изучение			
				состава	физических свойств	формы	структуры
Визуальные наблюдения	+++	+++	+++	++	—	×××	+++
Аэровизуальные наблюдения	×××	×××	×××	×	—	—	×
Дешифрирование АФМ	×××	×××	×××	××	—	000	×××
Фотоспектральные исследования	×	×	×	00	++	—	—
Геоморфологические исследования	×	+	+	—	0	×	×
Структурная съемка	—	—	+++	—	—	+++	+++
Структурный анализ	—	—	—	—	—	××	×××
Геохимические исследования	++	××	××	+++	0	0	00
Минералогические исследования	+	+	×	+++	0	0	00
Петрографические и литологические исследования	++	++	×	+++	0	0	00
Методы определения возраста	+++	000	××	—	—	—	0
Палеоэкологические исследования	+	+	+	—	—	—	—
Гравиразведка	00	×××	×××	00	+++	+++	++
Аэромагниторазведка	0	×××	×××	00	+++	000	+++
Наземная магниторазведка	00	×××	×××	00	+++	+++	+++
Палеомагнитные исследования	++	—	—	—	++	—	—
Сейсморазведка	××	××	+++	0	++	+++	++
Электрозондирование	000	××	×	0	+++	+++	+++
Электропрофилирование	00	××	×××	0	+++	++	++
ЕП, ВП	0	×	×	00	+	—	—
Радиоволновые (радиокип и др.)	××	××	×××		++	×	××
Аэрорадиометрия	0	××	××	+++	+	×	××
Наземная радиометрия	0	××	×××	+++	+	×	××
Гаммаспектрометрия	0	××	×××	+++	+	×	××
Каротаж	000	×××	+++	00	+++	×××	×××
Петрофизические исследования	0	××	××	00	+++	—	××
Шлиховые поиски	—	0	0	××	—	—	—
Литогеохимич. поиски по вторичным ореолам	—	0	0	×××	—	—	—
То же, по потокам рассеяния	—	0	0	××	—	—	—
Гидрогеохимич. поиски	—	0	0	××	—	—	—
Биогеохимич. поиски	—	0	0	×	—	—	—
Атмогеохимич. поиски	—	0	×	××	—	—	—
Геоботанические исследования	—	0	0	0	—	—	—

Примечание. Значимость исследований — три знака — основной вид исследований; *два знака — дополнительный вид исследований; один знак — второстепенный вид* исследований. Качество информации: + — информация в основном прямая; × — информация как прямая, так и косвенная; 0 — информация в основном косвенная.

Основной трудностью выбора комплекса по описываемой последовательности оказывается отсутствие достаточно четких представлений о возможностях комплекса методов для выполнения как отдельных операций, так и всей геологической съемки, особенно в сложных условиях изучения геологического строения на глубине. Предложенный путь выбора рационального комплекса представляет паллиатив, неизбежность которого сейчас связана с невозможностью применения количественных методов. Разработка количественных требований к крупномасштабной геологической съемке и на этой основе критериев эффективности отдельных видов исследования представляет важную задачу будущих исследований.

За критерий эффективности для любого вида поисков или их сочетаний можно принять вероятность обнаружения объекта поисков — перспективного участка или количество информации о нахождении объекта поисков в районе при определенном количестве поисковых усилий, а следовательно и стоимости. Задача определения рационального комплекса поисков может быть поставлена и решена методами линейного программирования и методами теории графов. Не останавливаясь на задачах линейного программирования, покажем, как это делается с помощью теории графов.

Результаты применения каждого вида поисков можно представить в виде группы точек, каждая из которых характеризуется определенной вероятностью. Естественно принимать за такие точки значения вероятности обнаружения, соответствующие значениям 0,1; 0,2; 0,3 и т. д. За ось, на которой располагаются точки, можно принять количество поисковых усилий или стоимость достижения определенной степени вероятности. Расположим все виды поисков на ряде параллельных осей и соединим каждую точку на каждой линии со всеми точками на соседней линии. Последовательность линий, соединяющих по одной точке на оси каждого вида поисков, дает комплекс поисков. Неприменяемый вид поисков пропускается при составлении последовательности линий. Выбор точек может производиться путем набора определенной вероятности или определенной стоимости комплекса. Суммарная вероятность обнаружения для соседних видов поисков определяется по формуле сложения вероятностей независимых событий $P_{12}=P_1+P_2-P_1P_2$. Время проведения работ играет роль ограничения в сроках, причем в случае одновременного, а не последовательного проведения поисков максимальное время определяется самым медленным видом поисков. В качестве ограничений могут учитываться вместо времени или одновременно с ним наличие аппаратуры, кадров и т. п. Выбор методов поисков при небольшом их количестве проводится качественно на основе опыта поисков в соседних районах. Полное решение требует перебора всех вариантов, что легче всего осуществлять на ЭВМ.

При определении рационального комплекса особое место принадлежит принципу последовательных приближений, определяющему последовательность проведения исследований и последовательность изучения всего района и отдельных его частей. Теоретически определение последовательности возможно математическими методами, с учетом последовательности переработки информации и объема ее, получаемых в результате применения каждого вида исследований. Однако препятствием для этого сейчас является отсутствие способов оценки количества и качества информации, доставляемой каждым методом, слабая изученность способов комплексной переработки информации, особенно при современной крупномасштабной геологической съемке с применением дешифрирования АФМ, геофизических и геохимических исследований и при огромном количестве информации, полученной при предшествующих исследованиях. В связи с этим приходится ограничиваться

определением рациональной последовательности по эмпирическим правилам с использованием качественных критериев.

Эти правила были применены для определения последовательности проведения видов исследования в типовых комплексах.

В заключение кратко остановимся на основных направлениях дальнейших исследований:

а) изучение геологических возможностей комплексов методов, а также возможностей отдельных методов и их сочетаний при глубинном изучении геологического строения;

б) разработка вопросов применения математических методов к определению рационального комплекса, что требует изучения структуры процесса геологической съемки, разработки количественных требований к ее содержанию и критериев количественной оценки возможностей отдельных методов и их сочетаний для выполнения отдельных операций и частных задач геологической съемки в различных геологических и ландшафтно-геохимических условиях;

в) дальнейшая разработка способов количественного определения комплексов поисков. Разработанные сейчас способы рассчитаны на проведение простейших расчетов при составлении проекта отдельной партии. Опыт показывает, что расчет для конкретного района при наличии подготовленных исходных данных занимает 2—3 часа, а сама подготовка исходных данных, используемых многими партиями, занимает 1,5—2 дня. Однако предложенные способы упрощены, не полностью используют возможности математических методов и не учитывают таких важных характеристик методов поисков, как качество информации, ее полнота и количество, возможности извлечения дополнительной информации при интерпретации результатов и пр. Разработка этих вопросов требует применения методов теории информации, теории статистических решений, математического программирования и ряда других дисциплин;

г) необходимы дальнейшие исследования организации геологосъемочных работ на основе современной теории организации с учетом степени изученности района, его экономики, геологических и природных условий и т. п. Это требует углубленного изучения потоков информации между отдельными подразделениями, причин ее искажения, влияния искажений и ошибок, возникающих в процессе проведения работ на качество конечных материалов;

д) в настоящее время задача выбора рационального сочетания видов исследования рассматривается как задача проектная, т. е. решаемая на стадии составления проекта работ. Очевидна необходимость проведения исследований по вопросам улучшения комплекса в процессе геологосъемочных работ в зависимости от получаемых результатов на основе применения методов исследования операций.

ЛИТЕРАТУРА

Беляевский Н. А., Григорьев А. В., Федюк В. И. О региональном изучении глубинного геологического строения закрытых и полузакрытых территорий. Сов. геология, № 3, 1962.

Беляевский Н. А., Петровская И. В., Соловов А. Л. и др. Комплекс методов, применяемых при металлогеническом изучении закрытых территорий и при поисках оруденения, не выходящего на поверхность. В кн. «Вопросы изучения и методы поисков скрытого оруденения». М., Госгеолтехиздат, 1963.

Бронгулеев В. В., Блох И. М. Вопросы комплексного применения геофизических и геологических методов исследования при геологической съемке м-бов 1 : 25 000 и 1 : 50 000. Сов. геология, № 3, 1964.

Дубинский А. Я., Сытин Ю. И. Методика комплексного регионального геолого-геофизического изучения равнинных территорий СССР (на примере Скифско-Туранской плиты). Л., Недра, 1968.

Еремеев Д. Н., Шугин А. А. Некоторые вопросы методики детальных геолого-геофизических исследований на закрытых площадях.— Сов. геология, № 5, 1966.

Еремин В. К., Кленчин Н. Н. Методика геологосъемочных и геофизических работ в условиях закрытых районов. В сб. «Геол., методика и техника разв. и лабор. работ». Алма-Ата, Каз. НТО, 1961.

Красников В. И. Задачи и методы геологических поисков. Сов. геология, № 49, 1955.

Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., Недра, 1965.

Основные положения организации и производства геологосъемочных работ м-ба 1 : 50 000 (1 : 25 000). М., Недра, 1968.

Slichter Z. B. The Need a New Philosophy of Prospecting. Mining Engineering. vol. 12, N 6, 1960.

УДК 550.8 : 51

А. И. Бурдэ

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ К ХАРАКТЕРИСТИКЕ МЕТОДОВ ПОИСКОВ, ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ ОПОИСКОВАННОСТИ РАЙОНА И ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОИСКОВ

Возможности отдельных методов при поисках полезных ископаемых зависят от многочисленных факторов: степень перспективности района, особенности ландшафтно-геохимических и геологических условий района, особенности самого метода, дискретный или непрерывный характер наблюдений и др. Эти факторы не могут быть определены теоретически и выражены в аналитической форме. В связи с этим применение теории вероятностей к процессу поисков опирается на использование эмпирических вероятностных характеристик отдельных методов. Такие эмпирические характеристики должны определяться в хорошо изученных (эталонных) районах и затем экстраполироваться на аналогичные или близкие по условиям проведения поисков районы. Их может быть предложено три:

1. Единичная вероятность обнаружения объекта поисков одним испытанием (пробой, наблюдением, измерением и т. п.), приближенно представляющая вероятность наличия объекта в любом достаточно малом участке района. Обозначим ее для дискретных поисков — g, а для непрерывных — γdL, где dL — некоторый малый отрезок маршрута. Единичная вероятность может быть эмпирически определена как отношение площадей объекта поисков и эталонного района, т. е. формулой $g=\gamma dL=s/S_0$, где S_0 — площадь эталонного района; s — средняя ($\bar{s}$) или минимальная ($s_{\min}$) площадь объекта поисков, характерная для данного региона (в частном случае эталонного района). Такое определение s естественно, так как поиски всегда проводятся в предположении о наличии в пределах площади по крайней мере одного объекта поисков. Вместо площади района и площади объекта можно использовать среднюю длину потоков рассеяния и общую длину водотоков данного района и т. п. Очевидно, что единичная вероятность — величина, характерная для каждого метода поисков, хотя бы в силу того, что признаки одного и того же месторождения по различным методам (ореолы или потоки рассеяния, геофизические аномалии и пр.) имеют различные размеры. Также очевидно, что, чем выше единичная вероятность для данного метода, тем с меньшими затратами при фиксированном уровне вероятности обнаружения может быть выявлено месторождение.

2. Условная вероятность выявления объекта поисков, если испытание проводится в его пределах, $Q=\Sigma s_b/\Sigma s_i$, где Σs_b — площадь выявленных данным методом объектов в эталонном районе; Σs_i — общая площадь объектов в том же районе. Величина $(1-Q)$ представляет вероятность пропустить объект и может быть названа ошибкой пропуска объекта.

3. Условная вероятность выявления истинного объекта при условии, что испытание проводится в пределах истинного или ложного объекта, $R=\Sigma s_i/(\Sigma s_i+\Sigma s_l)$, где Σs_l — общая площадь ложных объектов, имеющихся в эталонном районе. Величина $(1-R)$ представляет вероятность выявления ложного объекта и может быть названа ошибкой выявления ложного объекта.

Эти три характеристики достаточно полно определяют поисковые возможности отдельных методов (см. табл. 1 для Кавалеровского рай-

Таблица 1

Виды поисков	Единичная вероятность обнаружения участка		Условные вероятности	
	среднего размера	минимального размера	Q	R
Визуальные поиски	0,0056	0,0005	0,892	0,790
Наземная магниторазведка	0,0048	0,0005	0,577	0,340
Электроразведка методом ЕП при оконтуривании по изолинии 25 *мв*	0,0026	0,0005	0,253	0,740
То же по изолинии 50 *мв*	0,0015	0,0001	0,146	0,758
Литогеохимические поиски по вторичным ореолам Sn с содержанием 0,001%	0,0035	0,0001	0,813	0,829
То же по содержанию Pb 0,001%	0,0045	0,0002	0,940	0,909
Гидрогеохимические поиски при выделении аномалий по иону SO_4 с содержанием 2—6 *мг/л*	0,0073	0,0005	0,871	0,635
То же с содержанием более 6 *мг/л*	0,0012	0,0005	0,095	0,462
То же по сумме металлов с содержанием 1—3 *мкг/л*	0,0087	0,0005	0,894	0,710
То же с содержанием более 3 *мкг/л*	0,0051	0,0012	0,682	1,000
Шлиховое опробование по содержанию касситерита более 50 зерен	0,0130	0,0017	0,778	0,921

она в Сихотэ-Алине), позволяют проводить отбор методов для рационального комплекса поисков и приближенно выбирать величину тех или иных признаков для оконтуривания перспективных участков (например, для гидрогеохимического метода из табл. 1 видно, что наиболее рационально оконтуривание перспективных участков по содержанию иона SO_4 в 2—6 *мг/л* и суммы тяжелых металлов в 1—3 *мкг/л*, имеющих достаточно большие значения величин Q и R. Использование содержаний иона SO_4 более 6 *мг/л* нерационально, так как ведет к пропуску объектов).

Перечисленные характеристики позволяют определить вероятность обнаружения объекта при проведении поисков с определенным объемом испытаний. Излагаемый далее способ определения вероятности разработан Б. О. Купманом (Koopman, 1957) для поисков подводных лодок и приспособлен для поисков месторождений. Этот способ основан на следующих посылках:

1. Реализация процесса поисков случайна, т. е.: а) объект может быть обнаружен любым единичным испытанием (любой пробой, измерением или отрезком маршрута достаточно малой длины и пр.) и б) вероятность обнаружения для любого испытания не зависит от результатов предыдущих испытаний.

Первая часть этого предположения может считаться справедливой в силу того, что в общем случае расположение объекта неизвестно. Вторая часть справедлива лишь для приближенного рассмотрения — хорошо известно, что испытания, обнаружившие объект поисков, располагаются группами.

Из изложенного, в частности, очевидно, что предлагаемый на основе этого предположения способ определения вероятности обнаружения применим в основном при малых вероятностях наличия объекта в районе.

2. Существует некоторая равномерно распределенная по всему району поисков (или значительным частям его) вероятность наличия объекта в любой достаточно малой части района P_0, отличная от 0 *. Эта вероятность может быть принята равной единичной вероятности (g или γdL). Это предположение также справедливо лишь для приближенного рассмотрения, так как, как правило, различные части района характеризуются различной перспективностью. Однако в настоящее время этот вопрос изучен недостаточно для использования в расчетах.

При определении вероятности принимаются еще два условия: а) район покрывается поисками с приблизительно равномерной плотностью при любом характере расположения испытаний; б) для уверенного выделения объекта необходимо выявление его несколькими испытаниями (число их обозначим m), причем в связи с последовательным систематическим изучением площади приближенно можно принять, что это условие равносильно уменьшению единичной вероятности в m раз (по аналогии с так называемыми обобщенными выстрелами) (Вентцель, 1964).

Условная вероятность Q и необходимость многократного выявления объекта уменьшают величину единичной вероятности обнаружения. Измененная величина ее (назовем ее полной единичной вероятностью) будет равна $g_S = gQ/m$ и $\gamma_S dL = \gamma dL \cdot Q/m$.

Получаемые при высказанных ранее предположениях формулы вероятности обнаружения объекта при некоторых количествах дискретных (N) или непрерывных (L) поисковых испытаний приведены в табл. 2, как и некоторые другие характеристики.

Суммарная вероятность обнаружения несколькими видами поисков определяется формулой

$$P = 1 - e^{-(\varphi_1 + \varphi_2 + \ldots + \varphi_n)},$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_n$ — потенциалы поисков для каждого метода.

Оценка степени опоискованности района может рассматриваться как величина вероятности обнаружения объектов среднего или минимального размера в результате проведенных поисковых работ. При этом может учитываться не только количество поисковых усилий, затраченных данной партией, но и количество поисковых усилий, затраченных предшественниками.

Ранее говорилось, что различные части района могут иметь неодинаковую перспективность и в связи с этим характеризоваться своими величинами единичных вероятностей. Определение вероятности обнаружения возможно и при этих условиях, и тогда потенциал поисков будет равен для дискретных методов $\varphi = -\Sigma N_i ln\,(1 - g_{Si})$, а для непрерывных $\varphi = \Sigma \gamma_{Si} L_i$, где N_i и L_i — количества поисковых усилий в разных частях района; g_{s_i} — полная единичная вероятность в разных частях района; γ_{s_i} — плотность единичной вероятности в разных частях.

Приближенная оценка достоверности результатов поисков может быть дана по формуле Байеса. Район поисков можно рассматривать как систему, находящуюся в двух состояниях: x_1 — нет объектов и x_2 — есть объекты. Состояние x_2 имеет вероятность $P_0 = \Sigma s_i/S$, где Σs_i — общая площадь объектов, имеющая или предполагаемая в районе; S — площадь района (в частном случае эталонного района, сведения по которому распространяются на близлежащие районы поисков). Вероятность состояния x_1 будет равна $1 - P_0$. Каждый метод поисков может

* Точнее следует говорить о вероятности наличия в любой точке района центра объекта поисков.

Таблица 2

Характеристики процесса поисков	Характер поисков	
	дискретный	непрерывный
Вероятность обнаружения объекта N дискретными испытаниями или L непрерывными маршрутами (φ — потенциал поисков)	$P = 1 - e^{-\varphi}$, где $\varphi = -N \ln(1 - g_s) \approx N g_s$	$P = 1 e^{-\varphi}$, где $\varphi = \gamma_s L$
Математическое ожидание необходимого числа испытаний ($\bar{N}$) или маршрутов ($\bar{L}$)	$\bar{N} = 1/g_s$	$\bar{L} = 1/\gamma_s$
Среднее квадратическое отклонение необходимого числа испытаний или маршрутов	$\sigma(\bar{N}) = \pm \frac{\sqrt{1 - g_s}}{g_s} \approx \pm 1/g_s$	$\sigma(\bar{L}) = \pm 1/\gamma_s$
Число испытаний $N_н$ или длина маршрутов $L_н$ при заданной вероятности обнаружения P_z	$N_н = \frac{\ln(1 - P_z)}{\ln(1 - g_s)} \approx -\frac{m \cdot \ln(1 - P_z)}{gQ}$	$L_н = \frac{m \cdot \ln(1 - P_z)}{\gamma Q}$
Вероятность обнаружения при поисках случайной приблизительно равномерной сетью с плотностью $k = N/S$ или $k = L/S$ при эффективной ширине поиска W*	$P = 1 - e^{-Wk}$	$P = 1 - e^{-W/k}$
То же при поисках профилями с расстоянием d *км*	$P = 1 - e^{-W/d}$	$P = 1 - e^{-W/d}$

* Эффективной шириной поиска названа средняя доля площади, изучаемая за единицу математического ожидания количества испытаний и равная $W = 0{,}632\ \gamma_s S_o$, где S_o — площадь эталонного района.

дать два результата: отрицательный $\tilde{x}_1$ — нет объектов и положительный $\tilde{x}_2$ — есть объекты. Величины, определяющие условные вероятности этих результатов, показаны в табл. 3.

Таблица 3

Состояние района и вероятность		Результаты поисков и их условные вероятности	
состояния	вероятности	$\tilde{x}_1$ — нет объектов	$\tilde{x}_2$ — есть объекты
x_1	$P(x_1) = 1 - P_o$	$P(\tilde{x}_1/x_1) = R$	$P(\tilde{x}_2/x_1) = 1 - R$
x_2	$P(x_2) = P_o$	$P(\tilde{x}_1/x_1) = 1 - P$	$P(\tilde{x}_2/x_2) = P$

Достоверность положительного результата поисков, т. е. вероятность того, что в районе действительно имеются перспективные участки, если получен положительный результат, оценивается по формуле

$$P_p(x_2/\tilde{x}_2) = \frac{P_o P}{(1 - P_o)(1 - R) + P_o P},$$

а вероятность того, что при поисках произошла ошибка, хотя и получен положительный результат, составит $P_p(x_1/\tilde{x}_2) = 1 - P_p(x_2/\tilde{x}_2)$.

Достоверность отрицательного результата оценивается формулами

$$P_p(x_1/\bar{x}_1)=\frac{(1-P_0)\,R}{(1-P_0)\,R+P_0\,(1-P)}\,,\ P_p\,(x_2/\bar{x}_1)=1-P_p\,(x_1/\bar{x}_1)\,.$$

Для комплекса n методов поисков, часть которых от первого до k-го дала отрицательный результат, а остальные — положительный, достоверность положительного результата составит

$$P_p\,(x_2/\bar{T})=\frac{P_0\,(1-P_1)\,(1-P_2)\ldots(1-P_k)\,P_{k+1}\,P_{k+2}\ldots P_n}{(1-P_0)\,R_1\,R_2\ldots R_k\,(1-R_{k+1})\,(1-R_{k+2})\ldots(1-R_n)+}$$
$$+P_0\,(1-P_1)\,(1-P_2)\ldots(1-P_k\,P_{k+1}\,P_{k+2}\ldots P_n\,.$$

а отрицательного — $P_p\,(x_1/\bar{T})=1-P_p\,(x_2/\bar{T})$.

Необходимо подчеркнуть несколько существенных обстоятельств, *имеющих значение для применения изложенных способов*:

1. Предположения о независимости испытаний (см. предположение 1) и равномерном распределении вероятности наличия объекта (предположение 2) приводят к достаточно сильному упрощению действительной картины, и поэтому вероятности обнаружения, рассчитанные по формулам обнаружения несколькими методами (или, что то же, при значительной плотности наблюдений одним методом), получаются завышенными. *Хорошим примером этого являются литогеохимические* поиски (см. табл. 3). Для ослабления этого завышения следует дискретные поиски со значительной плотностью наблюдений (в основном, по-видимому, тогда, когда размеры объекта больше расстояния между испытаниями) рассматривать как непрерывные. Если принять этот способ для литогеохимических поисков при расстоянии между пробами 100 *м*, то плотность их составит 4 пог. *км* профилей на 1 *км*^{2} и вероятность обнаружения участков среднего размера по Sn будет равна 0,898 и по Pb — 0,980, а участков минимального размера — 0,070 и 0,140 соответственно. *Однако это предложение не спасает от завышения вероятности несколькими методами.*

2. Предлагаемые формулы дают значение только математического ожидания необходимого количества испытаний. В связи с этим, если принять объем поисков в количестве $\overline{N}$ или $\overline{L}$, то вероятность обнаружения составит примерно 0,65 с приблизительно 60%-ной надежностью. Для получения более высокой степени надежности необходимо проведение поисков в объеме, определяемом требуемой степенью надежности. То же относится и к определению вероятности обнаружения, которая *при каждом заданном количестве поисковых усилий определяется с некоторой* степенью надежности.

3. В большинстве районов поиски ведутся на несколько полезных ископаемых, причем участки, перспективные в отношении различных полезных ископаемых, могут полностью или частично совпадать. Если предусматривается определение вероятности обнаружения любого полезного ископаемого, то суммарная площадь объектов поисков, необходимая *для определения среднего размера объекта поисков*, определяется как сумма площадей всех перспективных участков (т. е. участки, где наблюдается несколько полезных ископаемых, учитываются один раз). Если предусматривается определение вероятности обнаружения по каждому полезному ископаемому отдельно, то суммарная площадь объектов и средняя площадь единичного объекта вычисляются для каждого полезного ископаемого.

4. Условные вероятности Q и R и единичные g_s и $\gamma_s dL$ с достаточной уверенностью могут быть определены только в хорошо изученных *районах, где подавляющая часть месторождений выявлена. Для плохо* изученных районов необходимо использовать данные по районам с близкими ландшафтно-геохимическими и геологическими условиями

при обязательном внесении поправок из опыта работ и данных о перспективности.

Все расчеты по предлагаемому способу элементарно просты. При известных величинах g, γdL, Q, R, P_0 они могут быть проведены за 1,5—2 часа.

Изложенные способы достаточно приближенны и учитывают только одну сторону поисков. В связи с этим принятое решение о перспективности площади и направлении дальнейших работ должно учитывать и другие данные, кроме результатов вычислений по приведенным формулам. Однако они весьма полезны в ряде ситуаций. К таким ситуациям относятся выбор наиболее достоверного участка из некоторого количества их, выявленного различными сочетаниями методов и признаков, выбор рационального комплекса поисков, оценка степени опоискованности, проектирование поисков на значительных площадях и в пределах одного планшета и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

Вентцель Е. С. Введение в исследование операций. М., Сов. радио, 1964.
Koopman B. O. The theory of search. Pt. 2. Operations research, 1956, vol. 4, N 5.

А. Г. Кондиайн

ПРИМЕНЕНИЕ ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ НА ПРИМЕРЕ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ УРАЛА

Одним из новых методов, еще не разработанных и не опробованных применительно к средне- и крупномасштабным геологическим съемкам, является метод палеотектонического (историко-тектонического) анализа.

Среди геологических процессов тектонические являются ведущими. От них зависит большинство геологических явлений, и в том числе образование полезных ископаемых. Выявление палеоструктур представляет особый интерес при геологической съемке и выборе первоочередных участков под поисково-съемочные работы крупного масштаба, так как именно древние структуры контролировали размещение большинства полезных ископаемых соответствующего возраста, как эндогенных, так и экзогенных.

В процессе эволюции земной коры многократно происходила смена одних тектонических режимов и их типов другими.

Поэтому современная структура того или иного участка земной коры является итогом всех его тектонических преобразований. В ней содержатся реликты показателей всех прошлых тектонических режимов и структур, что отражается на мощностях и формационной принадлежности отложений, составе интрузий, в геофизических полях и пр.

Проводившиеся нами ранее мелкомасштабные палеотектонические исследования Урала показали большую перспективность применения этого метода и необходимость его дальнейшей разработки.

Палеотектонический анализ дает возможность выявить разновозрастные древние тектонические структуры и конкретные структурные формы. Их местоположение, размеры, морфология и особенности развития наряду с характером осадконакопления и магматизма являются важнейшими показателями тектонических режимов. Места сочленения участков земной коры, характеризовавшихся разным тектоническим режимом, различной амплитудой или знаком движений, как правило, совпадали с действовавшими в то время глубокими, но часто не выходившими на поверхность разломами. Они являлись зонами наибольшей магматической и гидротермальной проницаемости, с которыми территориально связано большинство соответствующих по времени своего образования эндогенных полезных ископаемых. Следовательно, любые прогнозные построения необходимо производить на палеотектонической основе.

При выборе опытных участков для применения палеотектонического анализа при геологической съемке учитывался выявленный нами ранее факт, что все процессы, свойственные Уральской геосинклинали и подчиненные ее продольной зональности, были направлены на переработку фундамента Уральской геосинклинали, но разнородность последнего существенно влияла на эти процессы, обусловливая существование поперечной зональности.

В ходе развития Уральской геосинклинали поперечная зональность осложняла продольные зоны, обусловливая их четковидность. Последняя отчетливо видна на палеотектонических реконструкциях, показы-

вающих, что по простиранию продольных зон преимущественного прогибания происходило чередование участков интенсивного погружения с участками, опускавшимися гораздо слабее. В продольных позитивных зонах также чередовались участки поднятия, где локализовались острова, с участками слабых погружений. В соответствии с этим продольные зоны по простиранию то расширялись, то сужались. Такие участки рассматриваются нами как древние поперечные по отношению к Уралу прогибы и относительные поднятия.

Прогибы характеризуются наиболее полными разрезами и наибольшей мощностью отложений Уральского геосинклинального комплекса, которые во внешнем прогибе представлены преимущественно карбонатными породами, а во внутренних прогибах — вулканитами, главным образом основного состава. Поднятия отличаются неполными разрезами, сокращенными мощностями отложений, представленных во внешней части геосинклинали в основном терригенными и реже кремнистыми отложениями, а во внутренних, кроме того, вулканитами, среди которых существенное значение имеют кислые и даже субщелочные разности. С поперечными поднятиями обычно территориально связаны и наиболее глубокие внутри- и межформационные размывы.

Нам представляется, что существование древних поперечных прогибов и относительных поднятий, сочетавшихся с одновременно развивавшимися продольными зонами, связано с гетерогенностью фундамента, на котором в конце рифея — начале венда заложилась Уральская геосинклиналь, и вызвано продолжавшимися в венде и палеозое разнозначными и разноамплитудными подвижками его блоков.

Таким образом, развитие Уральской геосинклинальной системы сопровождалось и обусловливалось одновременным развитием двух систем разломов. Главной из них была система глубинных и сверхглубинных разломов, подчинявшихся уральскому структурному плану и являвшихся зонами высокой проницаемости эндогенных агентов. Меньшее, но все же существенное значение имели разломы, подчинявшиеся структурной зональности фундамента, которые в палеозое, вероятно, были менее глубокими и обладали меньшей проницаемостью.

Все поперечные зоны, выявленные на Урале, находят свое естественное продолжение в прилегающих с запада регионах.

С помощью палеотектонического анализа стало также известно, что географическое положение многих глубинных разломов в ходе развития Уральской геосинклинали от этапа к этапу менялось вследствие того, что одни из них залечивались и переставали функционировать, а другие возникали в новых местах. В результате менялось сочетание продольных и поперечных разломов, а следовательно, и местоположение узлов их пересечений, являвшихся местами наибольшей проницаемости.

Наиболее стабильными являются элементы поперечной зональности, продольные — более мобильны.

Сопоставление палеотектонического районирования с размещением известных полезных ископаемых разного возраста показало, что эндогенная рудная минерализация, связанная с глубинными разломами, располагается по границам древних структурных форм соответствующего возраста и особенно в узлах пересечения разломов, ограничивавших элементы продольной и поперечной зональности.

Экзогенные полезные ископаемые, связанные с осадочными формациями прибрежно-морского и наземного происхождения, ассоциируются с поперечными и продольными относительными поднятиями соответствующего возраста. В поперечных древних прогибах формировались в одних случаях наиболее чистые карбонатные породы, в других — битуминозные разности, которые, возможно, послужили источником концентрации нефти и газа в Приуралье.

Россыпные месторождения, как правило, тяготеют к периферии древних поднятий, а их специализация зависит от многих причин, но в первую очередь от тектонического режима области поднятия и состава размывавшихся пород.

Месторождения, генетически связанные с интрузиями кислого состава, тяготеют к участкам пересечения продольных и поперечных относительных поднятий, существовавших во время образования этих интрузий.

Здесь нет возможности более подробно рассматривать все эти вопросы, но необходимо подчеркнуть важность палеотектонического анализа, позволяющего без больших материальных затрат значительно конкретизировать направление поисковых работ, а также рационализировать планирование и частично само проведение крупномасштабных геологических съемок.

Исходя из вышесказанного, в качестве первых опытных участков нами были выбраны районы пересечения продольной и поперечной зональности в пределах западного склона Урала. Это — территория древнего Верхне-Илычского поднятия, Верхне-Печорского прогиба и Кисуньинско-Елминского поднятия, а также район сочленения Урала и Тимана.

Палеотектонический анализ располагает рядом методов — составление палеотектонических и палеогеологических карт, палеогеологических профилей и др., главнейший из них — составление палеотектонических карт.

Методика составления обзорных палеотектонических карт разрабатывалась во ВСЕГЕИ Т. Н. Спижарским и О. А. Кондиайном. Основные принципы этой методики применимы и для более детальных палеотектонических карт, хотя сама легенда требует значительной детализации. Попытка применения палеотектонического анализа для геологической съемки среднего и крупного масштабов только начата и пока можно говорить лишь о следующих предварительных результатах, полученных за первые полтора года исследований на отдельных участках Урала.

I. Масштаб палеотектонических карт должен быть мельче масштаба геологической съемки, на базе которой он проводится.

II. Палеотектонические исследования следует проводить в два этапа:

1. Исследования, относящиеся к первому этапу, рекомендуется проводить на базе геологической съемки м-ба 1 : 200 000 перед крупномасштабной. Желательно, чтобы палеотектоническим анализом занимались те же геологи, которые проводили съемку.

Наилучший результат дает охват нескольких листов карт м-ба 1 : 200 000, так как необходимо, чтобы в пределы исследуемой площади вошло не менее двух структурно-формационных зон или их частей.

Наиболее целесообразно составление палеотектонических карт для последовательного ряда этапов или подэтапов развития данного региона. При этом выбираются те интервалы времени, которые на выбранной площади наиболее полно охарактеризованы соответствующими им отложениями.

Основными исходными данными для последующих палеотектонических построений, на которые следует обращать особое внимание при геологических съемках м-ба 1 : 200 000, являются:

а) мощности отложений, соответствующих данному этапу или подэтапу, сохранившиеся к началу каждого следующего этапа: не усредненные, как обычно показывают на сводных стратиграфических колонках к листам, а мощности в конкретных разрезах;

б) формационная принадлежность отложений;

в) характер границ структурных ярусов и подъярусов.

При этом используются все имеющиеся разрезы, как наиболее полные, так и фрагментарные. Учет последних существенно поможет выявлять специфику распределения элементов древней зональности. Кроме того, исследуются размещение, возраст и формационная принадлежность магматических образований.

После этого на базе всех этих данных составляется палеотектоническая карта, причем целесообразно построить две-три карты для последовательного ряда этапов или подэтапов и затем рекомендуется составить схему совмещения палеоструктур. Это позволяет выявить:

1) наиболее устойчивые зоны сочленения разных палеоструктур, которые являются, как правило, наиболее перспективными в отношении эндогенных полезных ископаемых;

2) наиболее постоянные разнорежимные области осадконакопления и денудации, с которыми могут быть связаны разные группы экзогенных полезных ископаемых.

Сопоставление современного структурного плана с более древними позволяет отделить генетическую связь полезных ископаемых с тектоникой от формальной их приуроченности к современным структурам.

Результаты исследований первого этапа позволяют не только значительно сузить и конкретизировать площади, намеченные под крупномасштабные поисково-съемочные работы, но и помогают уточнить методику и направленность этих работ. Кроме того, проведенный анализ может оказать существенную помощь для корреляции и уточнения возраста разнофациальных «немых» толщ при составлении геологических карт.

2. Второй этап палеотектонического анализа посвящается решению частных вопросов, в основном в процессе камеральной обработки материалов крупномасштабной съемки.

На среднемасштабных палеотектонических картах складчатых областей выделяются две категории регионов с разным знаком движений. В регионах прогибаний (погружений) цветом показывается подтип режима, а оттенком цвета — стадия режима (на мелкомасштабных картах цвет отражает тип режима).

В регионах поднятия цветом показываются главнейшие элементы внутреннего строения — предыдущие структурные ярусы данного типа тектонического режима (свойственного данному региону), а также выступы фундамента *.

Интенсивность закраски отражает итоговые амплитуды движений. Шаг палеоизопахит ** зависит от масштаба карты и от перепадов мощностей. Для м-ба 1 : 500 000 он колеблется от 200 до 500 *м*, на картах 1 : 200 000—100—200 *м*. Кроме того, наносится расположение всех разрезов, подразделенных по значимости.

Затем показываются осадочные, вулканогенные интрузивные формации, возникшие в данный интервал времени, а также более древние из этих формаций, которые вскрывались эрозией в областях поднятий (последние изображаются без цвета — только цветовой обводкой и штриховкой). Для показа интрузивных формаций мы используем легенду, разработанную группой геологов ВСЕГЕИ для тектонической карты Русской платформы и ее обрамления м-ба 1 : 1 500 000 (Н. А. Румянцева, О. А. Кондиайн и др.).

Далее, на картах изображаются скрытые и открытые разрывные нарушения рассматриваемого времени, обусловливавшие смены форма-

---

* Фундаментом мы называем совокупность геологических образований, присутствующих в пределах данного региона, но сформировавшихся в условиях тектонических режимов, предшествовавших его заложению.

** Палеоизопахиты — линии равных итоговых мощностей отложений, сохранившихся к концу рассматриваемого интервала геологического времени.

ций, резкие перепады мощностей, т. е. служившие границами структурно-формационных зон, подзон и районов. Показываются также главнейшие разрывные нарушения типа надвигов и сдвигов, возникшие после рассматриваемого интервала, но значительно изменившие первоначальное взаимное расположение структурных форм.

Приводимые здесь основные элементы легенды для среднемасштабных палеотектонических карт будут еще дорабатываться и уточняться.

Таким образом, палеотектонический анализ тем и интересен, что он позволяет без больших затрат средств выявить наиболее перспективные участки в отношении разных групп полезных ископаемых разного возраста.

ЛИТЕРАТУРА

Кондиайн А. Г. Структурно-фациальные особенности силурийско-раннедевонского этапа тектонического развития севера Урала. Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия, т. 86, 1962.

Кондиайн О. А. Структурно-фациальное районирование севера Урала. Матер. годичной сессии Уч. сов. по результ. работ 1960 г., аннот. докл., 1963.

Кондиайн А. Г. Основные черты тектоники внешней части Уральской геосинклинали и прилегающих областей в силуре и раннем девоне. Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия, т. 170, 1970.

Наливкин В. Д., Ронов А. Б., Хаин В. Е. (редакторы). Условные обозначения и методические указания по составлению атласа литолого-палеогеографических карт СССР. Л., Госгеолтехиздат, 1962.

Спижарский Т. Н., Громов Ю. Я. Палеотектонические карты и методика их составления. Методы палеогеографических исследований. М., Недра, 1964.

Спижарский Т. Н. Методика тектонического районирования. Геологическое строение СССР, т. II. М., Недра, 1968.

Хаин В. Е. Анализ формаций как метод палеотектонических исследований. Краткое содержание доклада на IV Всесоюзном литологич. совещании в Ташкенте (май 1959 г.). Бюлл. Моск. о-ва испыт. природы, т. 64, отд. геол.; т. 34, вып. 2, 1959.

УДК 55(084.3)

В. Д. Вознесенский, Г. Л. Добрецов

ПРИНЦИПЫ ПОДГОТОВКИ К ИЗДАНИЮ МАТЕРИАЛОВ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ГЕОЛОГОСЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

В 1962 г. вышла в свет «Инструкция по составлению и подготовке к изданию геологической карты м-ба 1 : 50 000». Она способствовала улучшению качества отчетных карт и позволила подготовить к изданию серии карт по целому ряду районов. Однако в настоящее время мы уже стоим перед необходимостью внести в нее существенные изменения, так как вступил в силу новый документ, определяющий требования к крупномасштабным геологическим исследованиям, — «Основные положения организации и производства геологосъемочных работ м-ба 1 : 50 000».

В «Основных положениях» содержатся новые важные требования: во-первых, составлять в обязательном порядке, кроме геологической карты и карты полезных ископаемых, карту закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозов; во-вторых, составлять эти карты в необходимых случаях не только для поверхности, но также для залегающих на глубине покровного и складчатого комплекса. В «Основных положениях» указывается также (п. 26), что «работы по территории, изучаемой одной геологической партией, считаются завершенными после сдачи окончательного отчета с полным комплектом карт, подготовленных к изданию» и далее: «Обязательные и специальные отчетные карты по решению филиалов НРС ВСЕГЕИ могут издаваться (размножаться) ограниченным тиражом для нужд организаций, работающих в данном районе».

Таким образом, впервые выдвигается требование готовить к изданию карты в ходе камеральных работ, завершающих двух-, трехлетние геологические работы в пределах группы листов.

Как известно, этот пункт «Основных положений» несколько раз обсуждался и редактировался, однако и в окончательной формулировке он звучит недостаточно убедительно. Можно и нужно говорить о размножении отчетных карт в количестве большем, чем традиционные пять экземпляров, однако называть это изданием карт вряд ли правильно, так как по целому ряду причин карты, составляемые поисково-съемочными партиями, неизбежно будут уступать специально подготовленным к изданию сериям (или массивам) государственных геологических карт. Именно о государственном издании карт будет идти речь в этой статье.

Прежде всего необходимо решить, какие карты геологического содержания нужно издавать.

Единого мнения по этому вопросу, как известно, не существует. Многие геологи считают достаточным издание для каждой трапеции двух карт поверхности — геологической и карты полезных ископаемых (регистрационной). Сторонники другой точки зрения исходят из того, что изданию подлежит все или почти все основные карты геологического содержания, прилагаемые к геологическим отчетам. Число таких карт по каждой отдельной трапеции м-ба 1 : 50 000 может достигать 12—15, а для массива карт по району средних размеров — несколько сотен. Очевидно, что и тот и другой вариант имеет свои преимущества

и выбрать оптимальный набор карт мы сможем только в том случае, если определим, для каких районов целесообразно государственное издание крупномасштабных карт. Эти районы названы в п. 27 «Основных положений», где сказано, что государственное издание карт геологического содержания осуществляется для районов, представляющих особый интерес в народнохозяйственном отношении.

Среди большого числа такого рода районов можно выделить две основные группы. Первая группа — горнопромышленные районы, перспективность которых на полезные ископаемые, интересующие современную промышленность, установлена, т. е. районы развития эндогенного оруденения, нефтегазоносные, угленосные, районы с месторождениями и проявлениями неметаллических полезных ископаемых и т. д. Эти районы являются первоочередными важнейшими объектами исследования Министерства геологии СССР и они имелись в виду в первую очередь, когда в комплект обязательных карт вводилась карта закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозов.

Вторая группа — это районы строительства и сельскохозяйственного освоения, изучение которых должно производиться специфическими методами, при ведущей роли инженерно-геологических и гидрогеологических исследований и сопровождаться составлением и изданием в случае необходимости специфического набора карт. Эти исследования проводятся специальными партиями и должны регламентироваться соответствующими инструкциями. Они выходят за рамки обычных геолого-съемочных работ. Принципы составления таких карт не рассматриваются в «Основных положениях» и отражены в специальной инструкции, которая должна быть дополнена требованиями к изданию этих карт. Это позволяет нам сосредоточить внимание на разработке принципов подготовки к изданию карт горнопромышленных районов, т. е. районов первой группы.

Подготавливая к изданию карты горнопромышленных районов, необходимо помнить о том, что эти карты нужны не только и не столько местным геологическим и хозяйственным организациям, которые без особого труда могут пользоваться гораздо более полными и подробными фондовыми материалами, но в большей мере геологам других районов, которые часто практически лишены возможности знакомиться с деталями геологического строения и закономерностями размещения полезных ископаемых в рудных узлах и районах, расположенных за пределами того региона, в котором они работают. Между тем, смысл детальных металлогенических исследований и сущность металлогенического метода заключается в возможности использования закономерностей, установленных в одном регионе, в условиях другого региона, в возможности перенесения накопленного опыта поисковых и прогнозных работ в другие регионы со сходным набором осадочных и магматических формаций, в иных случаях отличающихся по возрасту от аналогичных или сходных формаций данного региона, но относящихся к тому же этапу развития подвижного пояса.

Таким образом, вырисовывается главная цель, стоящая при издании карт горнопромышленных районов, — дать сжатую графическую информацию об особенностях геологического строения и закономерностях размещения полезных ископаемых в разнообразных по металлогеническим особенностям горнопромышленным районам. Намечаются контуры громадной и важной в практическом отношении работы — создание кадастра горнопромышленных районов (узлов) страны, в котором бы нашли свое отражение типичные районы различных металлогенических провинций, все типы минерального сырья, все разнообразие эндогенной и экзогенной минерализации.

По-видимому, было бы правильно с самого начала четко определить содержание этого будущего грандиозного кадастра. В пределах

выделенных на территории Союза структурно-металлогенических зон, на основе уже проведенного геолого-экономического районирования нужно наметить важнейшие горнопромышленные районы, а в пределах крупных районов — рудные узлы, зоны и т. п., с тем, чтобы определить в основном перечень районов и суммарное число трапеций, подлежащих изданию. Составляя такой перечень, нужно сознавать реальные возможности издания и определить реально-выполнимый объем на расчетный срок — 10—15 лет, тот срок, за который не изменятся существенным образом возможности геологических исследований и требования к содержанию и оформлению карт. Если ориентировочно принять число районов, подлежащих изданию, за 500, а средний размер района равным 10 трапециям, то уже при 5 картах, составленных для каждой трапеции, общее число карт, которое необходимо издать за 10 лет, составит около 25 000 или 2,5 тыс. в год, что в несколько раз выше числа крупномасштабных карт, которые планируется издавать в начале 70-х годов.

Таким образом, состояние полиграфической базы обязывает нас (если мы хотим в ближайшие годы издать комплекты карт геологического содержания по всем наиболее важным горнопромышленным районам Союза) сознательно ограничить набор карт в этом комплекте, оставив в нем действительно необходимые. Такими картами являются сейчас три: геологическая, карта полезных ископаемых и карта закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозов.

Как известно, в «Основных положениях» выделено 7 типов районов проведения геологосъемочных работ, что определяется различными сочетаниями четвертичного, покровного и складчатого комплексов. Соответственно должен меняться и набор основных карт и их содержание.

В число геологических карт во всех районах в обязательном порядке должна входить геологическая карта поверхности. В районах развития четвертичного комплекса (тип I, IV, V и VII) — это карта четвертичных отложений. В тех случаях, когда четвертичные отложения имеют ограниченное распространение или маломощны и карта четвертичных отложений не составляется, нужно готовить к изданию обычные геологические карты поверхности. Составление геологических карт поверхности широко практикуется во многих районах СССР, однако эти карты не полностью удовлетворяют нас по своему содержанию, главным образом, из-за излишнего субъективизма в изображении геологических тел. Выражается это, прежде всего, в том, что геологи проводят слишком широкие экстраполяции, «снимают» рыхлые отложения на тех участках, где они вскрыты весьма редкой сетью горных выработок и буровых скважин, не различая по степени достоверности границы, проведенные в коренных скальных выходах, по элювию и даже под делювиальными отложениями. В результате район из плохо обнаженного искусственно превращается в хорошо обнаженный, а многие геологические границы, показанные на карте, при всем желании не могут быть прослежены и проверены на местности.

Такое положение, связанное с тем, что карта поверхности зачастую была единственной геологической картой, составлявшейся в процессе полевых и камеральных работ, теперь, когда принято решение о составлении геологических карт для разных комплексов, в том числе для покровного и складчатого, уже не может быть оправдано. Карта поверхности должна быть картой максимально объективной, на ней должны быть изображены все дальнеприносные четвертичные отложения любой мощности (если они не позволяют прослеживать границы дочетвертичных образований), а коренные выходы пород покровного и складчатого комплекса показаны в их естественных контурах. Во многих случаях это будут лишь небольшие «островки» среди поля рыхлых четвертичных отложений, однако каждый такой «островок» будет точно соответ-

ствовать выходу коренных пород на местности, а геологическая граница, показанная внутри него, будет по-настоящему достоверной геологической границей.

Для того, чтобы сделать геологическую карту более объективной, предлагается, кроме того, значительно усилить дифференциацию показываемых на карте геологических границ, выделяя, в частности: а) границы, прослеженные в скальных выходах; б) в элювиальных отложениях; в) под наносами (путем дешифрирования, с применением геофизических методов и т. д.); г) участки, где надежно устанавливаются взаимоотношения между геологическими телами. Шкала геологических границ должна отражать особенности геологического строения района и обеспечивать точную передачу всех наблюдаемых соотношений в районе между наблюдаемыми геологическими телами.

Предлагается также показывать состав геологических тел крапом не только на вулканогенных образованиях и четвертичных отложениях, как было предусмотрено прежней инструкцией, но также на осадочных и интрузивных образованиях. В конечном счете это должно привести к тому, что будет уделяться больше внимания картированию геологических границ внутри толщи и интрузий, т. е. тех геологических границ, которые часто считаются второстепенными по сравнению с границами хроностратиграфических подразделений.

Кроме геологических карт поверхности в районах изучения покровного и складчатого комплексов на глубине, к изданию необходимо готовить геологические карты этих комплексов. Вместе с геологической *картой поверхности они будут образовывать пару (или триаду) карт*, подобно тому, как это практикуется в Геологической службе Англии.

Карта полезных ископаемых составляется прежде всего на основе геологической карты поверхности (или карты четвертичных отложений) *и может совмещаться с ней. По сути своей это тоже карта поверхности*, так как именно на поверхности, в поверхностных отложениях фиксируются выходы полезных ископаемых, связанные и с четвертичным, и с подстилающими его комплексами: далеко не всегда признаки минерализации, отмеченные на поверхности, могут быть «спроектированы» на карты глубинных комплексов. Геологическая основа карты полезных ископаемых может быть разгружена от излишних деталей: карта должна иметь сугубо фактологический характер и отражать все достоверно установленные сведения о месторождениях, проявлениях и прямых признаках полезных ископаемых. В качестве основы легенды к карте полезных ископаемых м-ба 1 : 50 000 представляется целесообразным использовать знаки, разработанные во ВСЕГЕИ коллективом под руководством В. Т. Матвеенко, а также способ изображения и систему условных *обозначений для аналогичных карт м-ба 1 : 1 000 000 (новая* серия), трансформировав их применительно к потребностям и возможностям детального масштаба. В частности, увеличение размеров значков месторождений, проявлений и знаков проявлений позволит расширить возможность графического изображения их признаков. Однако излишнее усложнение знаков месторождений и проявлений полезных ископаемых нежелательно.

Исходя из требований крупномасштабных геологосъемочных работ, возникает необходимость разработки более дробной системы условных обозначений для шлиховых и геохимических ореолов. Предполагается выделять литохимические (металлометрические), шлиховые, гидрохимические и биохимические ореолы, которые разделяются на наземные и глубинные, а литохимические и шлиховые, кроме того, на первичные (в коренных породах) и вторичные (в рыхлых отложениях). Соответственно этому разделяются единичные аномальные пробы и потоки рассеяния.

Составление карты полезных ископаемых для глубинных комплексов предусматривается в районах IV, V, VI типов.

Третья карта, которая должна войти в комплект карт, подготавливаемых к изданию, — карта закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозов. Принципы ее составления пока не разработаны. В «Основных положениях» в этом отношении есть только общие рекомендации.

С нашей точки зрения, эта карта в основе своей должна быть формационной. На ней следует показывать осадочные, магматические и рудные формации. Цветом отражаются этапы и стадии развития регионов, крапом — состав формаций и фаций. Интрузивные формации закрашиваются более густым цветом, чем осадочные и вулканогенные. Знаки месторождения и рудопроявлений трансформируются таким образом, чтобы отразить принадлежность месторождений и рудопроявлений к рудным формациям. Следовательно, основа карты закономерностей размещения полезных ископаемых принципиально иная, чем основа карты полезных ископаемых, и совмещение этих карт, как правило, невозможно.

Для глубинных комплексов (покровного и складчатого) в районах II, III и VI типов, т. е. в тех случаях, когда карта полезных ископаемых составляется на основе геологической карты поверхности, целесообразно ограничиться картой закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозов. Важнейшим дополнением к карте закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозов должна служить металлогенограмма, отражающая связь рудных формаций с осадочными и магматическими формациями.

Число карт, составляемых для каждой отдельной трапеции, колеблется в зависимости от особенностей геологического строения района от 2—3 до 9, в среднем составляет 5 карт на трапецию, или примерно 25 000 карт на все горнопромышленные районы Союза. Таким образом, при издании одних только обязательных карт (геологической, полезных ископаемых и закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозов) наши полиграфические предприятия будут загружены до предела.

Вероятно, нельзя сейчас вести речь о государственном издании таких карт, как литохимическая, гидрохимическая, шлиховая (минеральных ассоциаций), данные этих отчетных карт должны быть с максимальной полнотой отражены на карте полезных ископаемых и карте закономерностей размещения полезных ископаемых. Следует также воздержаться от издания геоморфологических и гидрогеологических карт, составление которых, кстати, резко отстает от составления геологических карт и карт полезных ископаемых.

Геофизические карты (гравиметровую и аномального магнитного поля) следует в необходимых случаях, по решению НРС ВСЕГЕИ, включать в комплект карт как дополнительные.

Итак, основной «единицей измерения» при государственном издании крупномасштабных карт геологического содержания мы предлагаем считать горнопромышленный район (рудный район, рудный узел, нефтегазоносную структуру). Для каждого такого района должен быть подготовлен атлас геологических карт. Примерная схема построения подобного атласа для одноярусного района такова. Атлас открывается титульным листом, на котором перечислены номенклатурные листы, входящие в атлас, и изображена схема расположения горнопромышленного района по отношению к административным границам. Далее идет оглавление. Затем условные обозначения к геологической карте и стратиграфические колонки, которые составляются для каждой структурно-формационной зоны и сопровождаются схемой их расположения. Далее идут листы геологической карты с минимальным зарамочным оформле-

нием, сопровождающиеся разрезами, которые должны являться, как правило, звеньями разрезов, пересекающих всю территорию района. Следующая карта полезных ископаемых также открывается листом условных обозначений. Затем идут листы карты полезных ископаемых. Далее следует карта закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозов. За условными обозначениями к карте здесь следует металлогенограмма, и лишь затем полистные карты трапеций. Нетрудно видеть, что размеры атласа будут весьма внушительными. Даже в одноярусном районе, сравнительно небольшом по площади, общее число листов будет приближаться к полусотне. В больших по площади и сложных по строению районах атлас будет включать 150—200 листов графики.

В легенде к карте закономерностей размещения полезных ископаемых, а также к геологической карте и карте полезных ископаемых целесообразно располагать в едином возрастном ряду осадочные, вулканогенные и интрузивные образования. Это повлечет за собой некоторые изменения плана построения объяснительной записки. В одной из первых ее глав должна быть приведена краткая характеристика структуры района. Дальнейшее изложение должно идти по возрастному принципу, независимо от того, идет ли речь об осадочных, вулканогенных или интрузивных образованиях. Отдельная глава должна быть посвящена формационному анализу.

Одной из важных проблем является создание системы условных обозначений к крупномасштабным геологическим картам, подготавливаемым к изданию. При этом следует исходить из невозможности предусмотреть все разнообразие геологической ситуации, а следовательно, и создать единую систему условных знаков, пригодную на все случаи жизни. В этом, вероятно, и нет необходимости, поскольку предполагается издание карт по группам листов, охватывающим отдельные горнопромышленные районы.

Правильнее ставить вопрос об унификации принципов построения самих карт и условных обозначений к ним. Необходимо разработать унифицированную систему основных или элементарных условных знаков, путем несложной и технически возможной комбинации которых можно будет составлять любые частные легенды к издаваемым картам. Эта задача облегчается тем, что и для карты полезных ископаемых, о которой уже говорилось, и для других карт можно в значительной степени использовать систему условных обозначений, предложенную в «Инструкции по подготовке к изданию карт м-ба 1 : 1 000 000 (новая серия)».

Все вопросы, связанные с легендами карт, входящих в Атлас карт горнопромышленного района, должны решаться редколлегией Атласа и утверждаться научно-редакционным советом ВСЕГЕИ.

Таковы, как нам представляется, основные принципы подготовки к изданию материалов крупномасштабных геологосъемочных работ. Они должны найти отражение в инструкции, которую следовало бы назвать «Инструкция по подготовке к изданию геологических карт горнопромышленных районов СССР в м-бе 1 : 50 000».

УДК 551.263.036/.038

В. М. Немцович

ПРИНЦИПЫ ФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Быстро развивающийся формационный анализ с успехом применяется при проведении различных региональных геологических исследований, способствуя изучению различных сторон геологических явлений — осадконакопления, магматизма, тектогенеза, металлогении, выявлению общих закономерностей геологического развития. Настоятельной задачей является внедрение формационного анализа в практику средне- и крупномасштабных геологосъемочных работ, при проведении которых этот важнейший метод используется пока крайне мало. Особенно важно применение формационного анализа при проведении геологической съемки м-ба 1 : 50 000 в районах сложного геологического строения, где на площади работ одной партии (обычно два — четыре листа) находится значительное количество осадочных, вулканогенных и интрузивных формаций, требующих применения различной методики их картирования и поисков связанных с ними полезных ископаемых.

Значительные разногласия в понимании геологических формаций и недостаточная четкость большинства их определений затрудняют использование формационного анализа в широкой геологической практике. В связи с этим настоятельной задачей является выработка рационального подхода к выделению формаций.

Можно говорить о следующих четырех основных принципах, которыми руководствуются геологи при выделении формаций: парагенетическом (с точки зрения сонахождения пород), геотектоническом (историко-геологическом), фациальном и петрогенетическом (с точки зрения характера материнского источника вещества геологических образований).

Запросам геологической съемки не отвечает выделение геологических формаций на основе только одного какого-либо принципа, например парагенетического, без учета их происхождения и условий образования. Такой чисто эмпирический подход к выделению формаций недостаточно полно раскрывает возможности формационного анализа, ограничивая, в частности, возможность экстраполяции выводов генетического характера по аналогии от хорошо изученных формационных типов к слабо изученным конкретным формациям (комплексам, свитам, сериям и пр.).

Вместе с тем неудовлетворителен и крайний генетический подход к выделению формаций, игнорирующий пространственно-временные связи геологических тел. При таком подходе слоистые толщи чередования пород, различных по происхождению (например, эффузивов, глинистых сланцев и известняков), рассматриваются как сочетание разных формаций (Попов, 1966; Кен, 1964), т. е. формация перестает быть реально картируемым телом.

По-видимому, эмпирический и генетический подходы к выделению формаций должны не противопоставляться друг другу, а развиваться как взаимодополняющие методы комплексного формационного анализа. Такой комплексный подход позволяет сочетать конкретность формаций, их картируемость и простоту выделения на практике с возмож-

ностью получения ценных генетических выводов. При выделении формаций необходимо учитывать как внешние вещественно-структурные особенности породных ассоциаций, так и определяющие их геологические условия. С позиций комплексного подхода формация представляет собой устойчивую естественно обособляющуюся группу горных пород, обладающих характерными вещественно-структурными особенностями и образующимися в определенных геологических условиях.

Это общее определение геологической формации близко к определениям Н. Б. Вассоевича (1966), К. Данбара и Дж. Роджерса. Определения осадочных, эффузивных, интрузивных и рудных формаций должны быть более развернутыми. При этом определения и принципы выделения слоистых осадочных и осадочно-эффузивных формаций, с одной стороны, и интрузивных формаций — с другой должны, по-видимому, несколько различаться, как различаются и особенности картирования этих двух групп геологических образований.

Стратифицированные осадочные и эффузивные образования слагают в большинстве своем толщи тесного переслаивания пород различного генезиса, строгое расчленение которых по петрогенетическому принципу невозможно, т. е. для формаций стратифицированных образований петрогенетический принцип не является ведущим. Интрузивные же образования при своем формировании рассеиваются как по разрезу земной коры, так и по площади. В процессе геологической съемки пространственно разобщенные интрузивы — производные одной исходной магмы и связанные общностью времени и условий образования объединяются в один интрузивный комплекс. В связи с этим при выделении интрузивных формаций петрогенетический принцип, в отличие от стратифицированных толщ, приобретает важнейшее значение.

Таким образом, под осадочной или осадочно-эффузивной формацией мы понимаем устойчивую ассоциацию горных пород, обладающих характерными особенностями состава и строения, возникающих на определенном этапе развития геоструктурных зон в сходных фациальных условиях. Осадочная или осадочно-эффузивная формация в ее конкретном проявлении во времени и в пространстве соответствует свите или нескольким свитам (серии). Интрузивная формация — устойчивая естественная ассоциация интрузивных и генетически связанных с ними пород, обладающих характерными особенностями состава и строения, возникающих на определенном этапе развития геоструктурных зон в сходных фациальных условиях из исходной магмы близкого состава. Интрузивная формация в ее конкретном проявлении соответствует интрузивному комплексу. Рудная формация — естественное сообщество рудных образований одного генетического типа, связанных с одной осадочной, осадочно-эффузивной или интрузивной формацией.

Иногда, помимо формаций, выделяют субформации, под которыми следует понимать группы пород со всеми признаками формаций, но плохо выдерживающиеся в пространстве. Субформация — это часть формации, подобно тому как подсвита — часть свиты. Представляется удобным использование также предложенного И. В. Хворовой (1961) термина «градация». Градация это часть формации, представляющая собой самостоятельный парагенез и отличающаяся от других частей формации.

Группы формаций составляют ряды, среди которых различаются вертикальные (возрастные) и горизонтальные (пространственные). Вертикальный ряд формаций — это группа последовательно сменяющих друг друга во времени формаций в пределах какого-либо одного тектоно-магматического цикла. Горизонтальный или латеральный ряд формаций — это группа синхронных формаций, фациально замещающих друг друга в пространстве. Задачей формационного анализа является также выделение комагматических серий, которые представляют собой

ряды сближенных во времени (в пределах одного периода активизации магматической деятельности) разнофациальных магматических проявлений, связанных одной областью магматического питания.

В последние годы делались попытки выделить метаморфические формации. Метаморфической формации, очевидно, должна соответствовать группа пород одной первично-осадочной, осадочно-эффузивной или интрузивной формации, преобразованной в определенных условиях метаморфизма. Однако классификация метаморфических формаций, построенная на таких принципах, окажется очень сложной. К тому же при изучении метаморфических образований не всегда возможно восстановление их исходного состава. В связи с этим удобным представляется картирование метаморфических пород по фациям и типам метаморфизма, а на основе реконструкции характера исходных осадочных, вулканогенных и интрузивных пород необходимо выделять среди метаморфических пород первичные геологические формации, как это предлагалось ранее Ю. Ир. Половинкиной (1967).

Важнейшей задачей формационного анализа является решение вопроса об объеме и количестве формационных типов. Для практики геологосъемочных и поисковых работ мало что может дать выделение таких громоздких формаций, как «базальтовая» или «гранит-липаритовая» (Кен, 1964). Одна базальтовая формация, по А. Н. Кену, объединяет различные по вещественно-структурным особенностям, рудоносности и условиям образования группы пород — эффузивы и разнообразные интрузивы от малых гипабиссальных до сложно дифференцированных расслоенных плутонов. Вместе с тем, понятие «формация» не может быть отождествлено с элементарными парагенезисами высшего порядка, как это предлагают сторонники крайнего эмпирического подхода. Выделяемые в процессе геологических исследований элементарные ассоциации горных пород (пачки, толщи), однородные в отношении признаков состава и строения (цвета, мощности пластов, гранулометрического состава), не могут рассматриваться в качестве формаций, поскольку в них отсутствует наиболее важный признак последних — закономерная повторяемость в пространстве и во времени определенных групп пород с характерными геологическими и вещественными признаками.

К настоящему времени предложено значительное количество классификаций осадочных и магматических формаций, в подавляющем большинстве которых в какой-то мере учитывается появление отдельных формационных типов на определенных этапах развития подвижных поясов и платформ. Важной задачей формационного анализа является создание единой рациональной классификации геологических формаций, по возможности наиболее полно отражающей геотектонические и фациальные условия их появления, а для интрузивных формаций также и состав исходной магмы.

В предлагаемой схеме классификации (таблица) в соответствии с геотектоническим принципом выделяются (как и в ряде предложенных ранее схем) формации платформы и подвижного пояса, а среди последних — формации раннего, среднего и позднего этапов развития, по Ю. А. Билибину. Учитывается также положение отдельных формаций по отношению к инверсии — главной фазе складчатости, обусловливающей превращение геосинклинали в складчатый пояс (доинверсионные, сининверсионные и постинверсионные формации).

В предлагаемой классификации сделана попытка отразить также фациальный принцип. В разных фациальных условиях на одном уровне вертикального ряда формаций могут возникать различные формационные типы, составляющие горизонтальные ряды формаций. Так, в позднем этапе развития подвижного пояса в зависимости от климатической обстановки образуются молассовая угленосная (в гумидных условиях),

Классификация геологических формаций

Группы формации			Осадочные и осадочно-эффузивные формации					Интрузивные формации				
Платформы			Верхняя континентальная					Агпаитовых нефелиновых сиенитов (А)				
			каолиновая (к)	красноцветная (р)	ледниково-моренная (л)							
			Щелочно-базальтовая (щ), в том числе субформации:					Кимберлитовая (К)		Щелочно-ультраосновная с карбонатитами (Щ)		
			трахибазальтовая (щт)	нефелин-базальтовая (щн)	эссексит-базальтовая (щэ)	лейцит-базальтовая (щл)						
			Трапповая (т)					Трапповая (Я)		Дунит-пироксенит-норитовая (С)		
Подвижного пояса	Позднего этапа	Постинверсионной стадии	Базальтовая (б)			Молассовая		Габбро-диабазовая (З)	Дунит-пироксенит-анортозит-габбровая (Д)		Сиенит-габбровая (И)	
			Порфировая (п), в том числе субформации:			сероцветная (а)	красноцветная (ц)	Гранитовая (Г)	Габбро-монцонит-гранитовая (Ц)	Щелочных гранитов (Ч)	Сиенит-гранитовая (Е)	Рапакиви (Р)
			липаритовая (пл)	трахиандезитовая (пт)	андезитовая (па)							
	Среднего этапа	Сининверсионной стадии	Флишевая (ф)					Габбро-плагиогранитовая (Б)		Гранодиоритовая (Н)	Мигматит-гранитовая (М)	
			Флишоидная (и)									
	Раннего этапа	Доинверсионной стадии	Граувакковая (г)					Габбровая (В)		Перидотит-пироксенит-габбровая (П)		
			Кремнисто-спилито-диабазовая (с)			Андезитовая (порфиритовая) (а)						
			Аспидная (нижняя терригенная) (д)					*Дунит-гарцбургитовая (У)*				

молассовая красноцветная (в аридных условиях) и молассовая сероцветная (в условиях холодного климата) формации. В заключительные стадии развития платформы специфика климатических условий определяет появление верхней континентальной каолиновой или континентальной красноцветной или континентальной ледниково-моренной формаций.

Для интрузивных гранитоидных формаций важнейшими фациальными условиями являются глубина становления интрузивов и характер проявления ассимиляционных процессов. В разных структурно-фациальных зонах, на различной глубине и в неодинаковых по составу и степени дислоцированности толщах возможно одновременное появление различных интрузивных формаций, которым соответствуют разнообразные интрузивные комплексы, что необходимо учитывать при корреляции интрузивных образований. В сильно эродированных структурно-фациальных зонах денудацией нередко вскрываются палингенно-метасоматические плутоны мигматит-гранитовой формации, возникающей на большой глубине в средний этап развития подвижного пояса. В результате подъема палингенной гранитоидной магмы в верхние горизонты одновременно с мигматит-гранитовой формацией образуется группа формаций батолитообразных плутонов. При этом при размещении магмы среди основных и средних по составу вмещающих толщ в условиях кальциево-железо-магнезиальной ассимиляции возникают плутоны габбро-плагиогранитовой формации, среди флишоидных толщ в условиях алюмосиликатной ассимиляции образуется обычно несколько более поздняя гранодиоритовая формация. Подобно этому гранитоидные интрузии позднего этапа развития подвижного пояса, локализующиеся среди терригенных толщ, представлены преимущественно гранитовой формацией, среди основных по составу толщ — габбро-монцонит-гранитовой формацией; среди толщ карбонатного состава при интенсивном проявлении карбонатной ассимиляции могут образовываться интрузии формации щелочных гранитов и сиенит-гранитовой формации; на большой глубине проявляется палингенно-метасоматическая формация гранитов рапакиви, наблюдаемая в глубоко эродированных зонах.

Для интрузивных формаций весьма подвижных базальтоидной и щелочно-ультраосновной магм важнейшее значение имеет характер размещения магмы среди вмещающих толщ, определяющий во многом размеры и степень дифференциации интрузивов. Так, одновременно со слабо дифференцированными интрузивами габбро-диабазовой формации позднего этапа, возникающей преимущественно при размещении магмы среди слабо дислоцированных вмещающих толщ, в жестких сложно дислоцированных толщах нижних структурных этажей могут формироваться расслоенные плутоны дунит-пироксенит-анортозит-габбровой формации (Немцович, 1968). По-видимому, различия в структурной обстановке являются важнейшей причиной одновременного появления в ранние этапы подвижного пояса слабо дифференцированной габбровой и сильно дифференцированной перидотит — пироксенит — габбровой формаций; в разных структурных условиях возникают недифференцированная кимберлитовая формация и формация сильно дифференцированных щелочно-ультраосновных пород с карбонатитами.

Выделение формационных типов, изучение условий их возникновения, создание классификации формаций — все это составляет сущность формационного анализа в широком его понимании. В процессе геологической съемки формационный анализ может быть ограничен задачей установления формационной принадлежности изучаемых геологических образований, определения положения их в систематике формаций, что само по себе позволяет делать ряд важных выводов. При этом установление формационной принадлежности картируемых геологических объектов не требует обязательного знания в каждом конкретном случае

всех условий, которые положены в основу выделения формаций — положения их в истории развития региона, фациальной обстановки формирования, генезиса пород. На практике эта задача может быть решена на основе эмпирического анализа путем сопоставления полученных в ходе геологического картирования данных по условиям залегания, составу и строению изучаемых массивов, пачек, свит, толщ и их стратиграфическому положению с обобщенными характеристиками и отличительными признаками (геологическими, петрографическими, минералогическими, геохимическими) отдельных формационных типов. Это позволяет широко использовать формационный анализ в практике крупномасштабной геологической съемки, когда, с одной стороны, накапливается большой фактический материал, а с другой — при изучении сравнительно небольших площадей нередко ограничены возможности получения данных о возрасте, происхождении и фациальных условиях становления интрузий. В литературе, посвященной интрузивным формациям (Кузнецов, 1964 и др.), для многих формационных типов имеются достаточно полные описания, которые могут быть использованы для определения формационной принадлежности картируемых групп пород.

Установление положения картируемых геологических образований в систематике геологических формаций по эмпирическим признакам позволяет делать определенные генетические выводы о вероятных условиях образования пород даже в тех случаях, когда нет возможности провести специальные исследования, помогает правильно наметить дискуссионные вопросы и пути их разрешения.

Так, закономерное появление различных геологических формаций в ходе развития геоструктурных зон позволяет использовать формационный анализ для преодоления трудностей, которые возникают при стратиграфическом расчленении геологических образований на свиты, серии, интрузивные комплексы, определении их границ и объемов, установлении возраста и их корреляции. Особенно важно применение этого метода при изучении интрузий, размещающихся среди древних вмещающих пород, когда данные о возрасте отдельных групп пород крайне незначительны или отсутствуют. Именно в таких условиях (а также при слабой изученности районов) интрузивные комплексы искусственно объединяют различные по геолого-петрологическим особенностям, условиям образования и металлогении интрузии. Таковы, например, муйский протерозойский комплекс Прибайкалья архызский герцинский интрузивный комплекс Северо-Западного Кавказа, уруштенский каледонский магматический комплекс Северного Кавказа, каждый из которых включает интрузии серпентинизированных гипербазитов альпийского типа, интрузивы габбро-амфиболитового состава, батолитоподобные массивы состава габбро-диориты — плагиограниты, трещинные плутоны существенно калиевых гранитоидов, т. е. интрузии разного геологического положения, происхождения и металлоносности. Выделение подобных гетерогенных интрузивных комплексов можно объяснить лишь слабой изученностью этих регионов.

Формационный анализ позволяет даже при отсутствии прямых данных о возрасте отдельных групп пород наметить предварительное расчленение упомянутых выше гетерогенных «интрузивных комплексов» на самостоятельные интрузивные формации, наметить вероятное положение последних в истории развития региона. Например, интрузии серпентинизированных гипербазитов, локализующиеся среди толщ спилит-диабазовой формации и включаемые в состав упомянутых выше муйского, архызского и уруштенского комплексов Прибайкалья и Кавказа, судя по особенностям их состава, строения, условиям залегания и рудоносности, принадлежат к гипербазитовой формации раннего этапа развития подвижных поясов. Такие интрузии широко развиты в офиолитовых поясах и, как можно судить по материалам хорошо изученных ре-

гионов, формируются в период наиболее интенсивного проявления вулканической деятельности доинверсионной стадии. В настоящее время недостаточно выяснены происхождение и возрастное положение интрузий габбро-амфиболитов, слагающих мелкие тела, пространственно связанные с гипербазитами, однако несомненно, что эти интрузии близки по возрасту к гипербазитам и, вероятно, формируются несколько позднее последних. Батолитоподобные плутоны сложного состава (плагиограниты, гранодиориты, кварцевые диориты, диориты, габбро), окруженные широкими зонами контактовых роговиков, сопровождают проявление главной (инверсионной) складчатости и предшествуют накоплению осадочно-эффузивных образований послеинверсионной стадии развития подвижных зон. Трещинные плутоны существенно калиевых гранитоидов (аляскиты, граниты, граносиениты, кварцевые монцониты, монцониты, кварц- и ортоклазсодержащие габбро), как выясняется на материале хорошо изученных регионов, обычно формируются в период проявления послеинверсионного магматического цикла, приводящего также к накоплению эффузивных толщ порфировой и базальтовой формаций.

Использованию формационного анализа при возрастном расчленении и корреляции геологических образсваний будет, несомненно, способствовать разработка унифицированных возрастных схем по отдельным регионам, составляемых на формационной основе.

Формационный анализ картируемых геологических образований облегчает решение важнейших вопросов, возникающих на разных этапах прогнозирования и поисковых работ, при оценке и отбраковке многочисленных рудопроявлений. Например, выявленные металлометрией ореолы рассеяния никеля не могут рассматриваться в качестве перспективных на выявление месторождений сульфидного никеля, если эти ореолы связаны с ультрабазитами гипербазитовой формации офиолитовых поясов. Такие ореолы подлежат отбраковке, поскольку известно, что в породах гипербазитовой формации никель присутствует, в основном, в силикатной форме, не пригодной для промышленного извлечения, и лишь незначительная его часть при наложенной гидротермальной переработке ультраосновных пород более поздними гидротермальными растворами переходит в сульфидную форму, образуя редкие и незначительные рудопроявления. С другой стороны, в ультраосновных породах расслоенных плутонов дунит-пироксенит-норитовой и дунит-пироксенит-анортозит-габбровой формаций никель присутствует, главным образом, в пригодной для извлечения сульфидной форме, в связи с чем ореолы рассеяния, связанные с расслоенными интрузиями этих формаций при тех же концентрациях никеля, что и в породах гипербазитовой формации, должны рассматриваться как потенциально перспективные.

При изучении каждой геологической формации должна применяться своя рациональная методика геологического картирования. Формационный анализ помогает использовать опыт изучения отдельных формаций в различных регионах и позволяет быстро и своевременно выбрать методику изучения и картирования различных геологических образований, правильно наметить важные вопросы детального геологического, петрографического, литологического, фациального изучения отдельных выделяемых свит, комплексов и пр.

Целесообразен переход к составлению геологических карт на формационной основе. При этом условные обозначения не должны перегружать геологических карт, основным назначением которых является отражение фактического материала. Для отображения формационной принадлежности представляется удобным использование буквенных индексов русского алфавита (заглавных букв — для интрузивных, строчных букв — для стратифицированных осадочных и осадочно-эффузивных образований). Такой формационный индекс будет достаточно

отчетливо отличаться на геологической карте от следующих за ним заглавных букв латинского алфавита, отражающих возраст стратифицированных образований (например, $фS_1$ — флишевая формация, нижний силур) или от буквенных индексов греческого алфавита, отражающих состав интрузий (например, $Бγ\delta Cm_2$ — габбро-плагиогранитовая формация, граниты и диориты среднекембрийского возраста).

ЛИТЕРАТУРА

Вассоевич Н. Б. История представлений о геологических формациях (геогенерациях). В кн. «Осадочные и вулканогенные формации». Л., Недра, 1966.

Кен А. Н. Геологические формации центральной части Алтае-Саянской складчатой области и их рудоносность. Тр. ВСЕГЕИ, т. 105, 1964.

Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. Л., Гостоптехиздат, 1964.

Немцович В. М. О расслоенных базитовых интрузиях Алтае-Саянской складчатой области. ДАН СССР, т. 182, № 1, 1968.

Половинкина Ю. Ир. Проблемы советской петрологии. Сов. геология, № 10, 1967.

Попов В. И. Опыт классификации и описания геологических формаций. М., Недра, 1966.

Хворова И. В. Флишевая и нижнемолассовая формации Южного Урала. Тр. ГИН АН СССР, вып. 37, 1961.

УДК 550.8.003./3

Р. А. Жуков, Ю. Р. Ткачев

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕВЫМИ РАБОТАМИ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПАРТИИ

Совершенствование методики, техники и организации полевых работ как самого трудоемкого и дорогостоящего этапа геологических исследований представляет задачу большой важности. В статье обсуждается вариант ее общего решения на основе системно-операционального подхода и оценивается эффективность ряда методических, технических и организационных мероприятий, обеспечивающих повышение качества конечной геологической документации и увеличение производительности исследований.

В рамках системной постановки задачи учтена и формализована только та важнейшая часть полевых работ, которая выполняется геологами, с оставлением в стороне вспомогательных работ, обычно ведущихся параллельно (топоработ, проходки горных выработок и т. п.). Формализация основывается на следующих соображениях.

Конечной целью полевых работ является получение целостного образа изучаемого участка земной коры, как правило, в виде геологической карты. Однако ввиду практической невозможности исследования участка одновременно по всей площади, на первом, аналитическом этапе он вынужденно дробится, например, на множество последовательно изучаемых в маршрутах точек наблюдения, данные о которых требуют взаимной увязки. Последняя осуществляется лишь на втором, синтетическом этапе, когда результаты наблюдений в двух и более маршрутах сводятся воедино и начерно создается целостная картина реальности, например геологическая карта.

В соответствии с этим процесс полевых работ (от конца их организации до начала ликвидации) можно представить состоящим из двух последовательных и взаимосвязанных видов (и стадий) работы: маршрутной и полевой камеральной (k). В свою очередь маршрутная работа слагается из работы на точках наблюдения и транспортировки (t) между ними. Наконец, работа на точках наблюдения может быть представлена в виде совокупности собственно работы (r) и записи текстом ее результатов (z).

Таким образом, процесс полевых работ можно рассматривать как систему, состоящую из четырех элементов-операций: $S=\{r, k, z, t\}$. Несмотря на схематичность подобного представления, выделенные операции образуют полную группу, поскольку обнимают все без исключения функции, систематически выполняемые геологами. Этим достигается соблюдение главного условия принятой формализации — сохранение естественной целостности рассматриваемого процесса.

Соответственно время полевых работ (ВПР) можно выразить как сумму затрат времени на каждую из выделенных операций за весь полевой сезон: ВПР$=R+Z+T+K$. Эти затраты времени являются величинами переменными, зависящими от вида полевых работ (съемка, разведка и т. п.) и конкретных обстановок их проведения (природные условия, состав партии, техническая оснащенность и пр.). Поэтому различные соотношения этих величин могут служить многомерными коли-

чественными характеристиками процесса полевых работ, что открывает возможности для их строгой типизации.

По отношению к результатам полевых работ выделенные операции и соответствующие затраты времени разделяются на производительные (r, k; R, K) и непроизводительные (z, t; Z, T).

Рассмотрим с учетом принятой формализации важнейшие недостатки существующей организации полевых работ, дополнительно принимая во внимание, что они проводятся, как правило, не одиночными геологами, а коллективами — партиями и отрядами.

Для маршрутной работы (прежде всего операции r) характерны недостаточные частота и регулярность координации действий геологов, ведущих наблюдения в одновременных маршрутах. Это приводит к появлению в результатах наблюдений таких различий (в полноте, обоснованности, геологической интерпретации), которые затрудняют последующую операцию — камеральное сведение этих результатов (k). Нередко, например, горизонты, зоны, дайки, пересекаемые одновременными маршрутами вкрест простирания, фиксируются одними геологами, но пропускаются другими, установленный кем-нибудь в маршруте характерный диагностический признак не используется остальными и т. п.

Не менее типичен такой недостаток, как слабая согласованность маршрутной работы (и главное операции r) с целями и результатами операции k — полевой камеральной работы. Он выражается, в частности, в систематической «нехватке» геологических данных при сведении результатов маршрутных наблюдений в единое целое. Это вынуждает геологов дублировать отдельные маршруты, затрачивая дополнительное время, либо, при его дефиците, закрывать глаза на заведомый произвол в оценке взаимоотношений геологических объектов.

Серьезными недостатками страдает и существующая система текстового фиксирования результатов наблюдений в маршрутах (операция z). Низкая (15—25 слов в минуту) скорость записи от руки даже при значительных затратах на фиксирование дорогого маршрутного времени не позволяет избежать схематичности дневниковых записей и потери части фактических данных, а трудная читаемость карандашных текстов и наличие только одного их экземпляра делают эти данные недоступными широкому кругу геологов.

Недостатки маршрутной транспортировки — перемещений в маршрутах и на подходе к ним (операция t) — заключаются в их большой трудоемкости и малой скорости.

Как будет показано ниже, в совокупности отмеченные недостатки определяют еще один серьезный недостаток существующей практики полевых работ в целом — их низкую производительность.

Проанализируем недостатки с целью получения ответа на вопрос: какие мероприятия способны их устранить или хотя бы ослабить и тем самым повысить производительность и качество результатов полевых геологических работ?

Нетрудно убедиться, что постоянная координация является единственной эффективной мерой по устранению различий в результатах работы геологов в маршрутах, поскольку сами различия вызываются причинами, число и степень влияния которых заранее учесть невозможно (неодинаковая квалификация и опыт геологов, разная степень обнаженности и т. п.). При существующей организации маршрутной работы достаточная частота и регулярность координации неосуществимы, так как взаимный обмен информацией возможен лишь при встречах геологов в периоды между маршрутами. Из сказанного следует, что для ликвидации рассматриваемого недостатка необходима организация в полевой партии постоянной оперативной связи между всеми геологами.

Несогласованность маршрутной работы и операции k, ведущая к упомянутой «нехватке» данных, определяется невозможностью предусмотреть при ведении этой работы получение тех из них, потребность в которых возникает лишь при синтезе результатов наблюдений нескольких геологов в единое целое. В конечном счете это — результат оторванности операций k и r во времени. Поскольку операция k осуществляется только после проведения ряда маршрутов, ее связь с операцией r носит односторонний характер (по схеме: $r \rightarrow k$). Насущно необходимое обратное — корректирующее, управляющее воздействие операции k на ход операции r (по схеме: $r \leftarrow k$) при существующей организации полевых работ практически исключается.

Для ликвидации этого недостатка необходимо обеспечить одновременность маршрутных и полевых камеральных работ и организовать оперативное управление ходом первых по результатам вторых, реализовав, таким образом, взаимовлияние операций r и k (по схеме $r \rightleftarrows k$).

Такая организация возможна при условии постоянного в течение полевого сезона выполнения операции k одним из геологов, причем мыслимы два варианта: без отрыва его от собственной маршрутной работы и с отрывом от нее (не исключена и комбинация вариантов). Другим непременным условием является наличие уже упомянутой оперативной связи между всеми геологами.

Первый вариант, связанный с дополнительной нагрузкой на одного из геологов, целесообразен в малочисленных партиях (2—3 геолога) и при работах некондиционного характера (ревизионно-увязочная съемка и т. п.).

Второй вариант предполагает полное отвлечение одного из геологов (не обязательно одного и того же на весь сезон) от собственной маршрутной работы для оперативного обобщения получаемых данных, составления варианта сводного документа (например, карты), уяснения потребности в недостающей для этого информации и направления усилий геологов в маршрутах на ее скорейшее получение как в тех же точках наблюдения, так и путем изменения направлений маршрутов. Этот вариант оправдан при кондиционных съемочных, поисковых и разведочных работах, выполняемых большим числом геологов (не менее 4). Он отвечает прогрессивной тенденции совершенствования любого сложного производства путем разделения труда.

Недостатки операции z — текстовой записи маршрутных данных — вызваны отсутствием в практике полевых работ иных способов текстового фиксирования результатов наблюдений, кроме записи от руки. Упразднить эти недостатки может лишь такой способ этого фиксирования, который гарантирует: а) бо́льшую, чем от руки, скорость записи, обеспечивающую требуемую полноту сбора данных; б) лучшую, чем при чтении дневника, воспринимаемость последних; в) возможность тиражирования (без участия геолога) сделанных записей в виде легко читаемого (печатного) текста — готового приложения к отчету партии.

Конкретизируем теперь причины низкой производительности полевых работ. Важнейшие из этих причин: а) неоправданно большая доля в ВПР непроизводительных затрат времени Z и T, определяемая, в свою очередь, рассмотренными причинами недостатков соответствующих операций; б) неоптимальное соотношение в ВПР производительных затрат времени R и K, определяемое тем, что операция k обязательно следует за операцией r. Последнее, в частности, означает, что при заданном ВПР одновременная максимизация R и K в условиях существующей организации работ принципиально невыполнима (увеличение R, а значит и производительности, требует сокращения K). Напротив, при организации оперативного взаимодействия операций r и k, когда операция k, как указывалось выше, выполняется одновре-

менно с маршрутной работой, становится возможным параллельное увеличение R и K (и значит производительности работ) только за счет непроизводительных затрат времени Z и T.

Неизбежное на первый взгляд снижение производительности за счет уменьшения числа маршрутных геологов на одного в действительности является мнимым: геолог, занятый операцией k, тем самым высвобождает для маршрутной работы значительную часть времени других геологов. Более того, увеличение целенаправленности маршрутных работ за счет оперативного управления ими по результатам полевых камеральных *снижает удельные затраты времени* R.

Конкретизируем мероприятия, способные ликвидировать перечисленные недостатки, рассматривая вопрос в двух аспектах — техническом и организационно-методическом.

При современном техническом уровне в качестве наиболее эффективного средства оперативной связи между геологами могут быть использованы портативные радиопередатчики (*в режиме телефона*), которые послужат и технической основой для реализации оперативного управления маршрутными работами.

При небольшом числе геологов в партии (2—3) организационно-методическая сторона управления не требует особых пояснений. При кондиционных работах больших коллективов для совмещения во времени маршрутных наблюдений и синтеза их результатов необходимо, как отмечалось, разделение этих функций между геологами на период проведения каждой серии одновременных вазимосвязанных маршрутов. Практически это требует создания на полевой базе партии органа оперативного управления маршрутными исследованиями, синтезирующего все данные, поступающие от маршрутных геологов, консультирующего их и целесообразно направляющего их действия.

Бесспорно, оперативное управление полевыми работами — организационная форма, непривычная для геологии. Тем не менее можно утверждать, что по своей сути она гораздо больше соответствует традиционным геологическим идеалам, чем существующая организация полевых работ.

Действительно, известное требование лучших руководств по картированию — оперативно менять тактику маршрутных наблюдений, следуя логике геологической реальности, — при существующей организации работ практически осуществимо лишь для геологов-одиночек и невыполнимо для маршрутных коллективов. Оперативное управление, напротив, возводит это традиционное требование геологической науки в принцип. Разнообразие геологических объектов, их взаимоотношений, природных условий, индивидуальных особенностей геологов таково, что необходимая согласованность ведения маршрутных исследований практически не может быть обеспечена одними лишь инструкциями, т. е. программами неоперативного управления — без обратной связи, сколь *бы совершенными, полными и гибкими они ни казались составителям*. Особо подчеркнем, что оперативное управление не только повышает качество необходимых наблюдений, но и ускоряет маршрутную работу, в частности, за счет уменьшения затрат времени на ненужные наблюдения.

Сводка, синтез более частных данных справедливо считается важнейшей и ответственнейшей частью геологического исследования. И действительно, этой работе уделяется исключительно большое внимание вне полевого сезона, например, при составлении мелкомасштабных сводных карт, к которому привлекаются наиболее квалифицированные геологи. Но абсолютно той же по сути работе в полевой период традиционная организация работ не отводит необходимого ей времени, хотя, конечно, ни один геолог не отважится настаивать на принципиальном примате геологического анализа над геологическим синтезом. Опе-

ративное управление полевыми работами кардинально меняет положение, отводя синтезу полагающуюся ему роль не за счет анализа, а за счет целесообразной организации этих работ.

Как следует из сформулированных выше требований, к более совершенному, чем существующий, способу записи текстом результатов наблюдений, наиболее оптимальными техническими элементами системы текстового фиксирования могут быть портативные диктофоны (у маршрутных геологов) и пишущая машинка и стационарный диктофон (на полевой базе, в органе оперативного управления). Организационная форма такой системы определяется разделением функций фиксирования данных и последующего их тиражирования в хорошо доступном для чтения виде. Геологи фиксируют результаты маршрутных наблюдений с помощью портативных диктофонов. Перепечатка данных с магнитной ленты ведется на базе партии одной машинисткой на 5—8 маршрутных геологов, без их участия. То обстоятельство, что диктовка в 3—10 раз быстрее записи карандашом (80—160 слов в минуту), позволяет исключить потери информации, а последующая перепечатка в нескольких экземплярах делает материал легко доступным и, при необходимости, сразу же пригодным для отчета.

Поскольку, как отмечалось, низкая производительность полевых работ определяется недостатками выделенных операций, предлагаемая организация, ликвидируя недостатки трех из них (k, r, z), должна привести к повышению производительности работ и, следовательно, к сокращению времени выполнения полевого задания. Поэтому оценка ожидаемого повышения производительности может быть, в частности, сведена к определению относительного приращения времени собственно работы (ΔR) за счет сокращения (или перераспределения) затрат времени на каждую из выделенных операций.

Если производительность работ (П) конкретной партии до внедрения новой организации принять за единицу (плановое полевое задание), то при введении этой организации производительность может быть определена по выведенной нами формуле

$$\Pi = \frac{R + \Delta R}{R} = \frac{C_R + C_Z + C_K + C_T}{q_R C_R + q_Z C_Z + q_K C_K + q_T C_T} > 1,$$

где $C_{R,\,Z,\,K,\,T}$ — отношения, соответственно равные $\frac{R}{R}$, $\frac{Z}{R}$, $\frac{K}{R}$, $\frac{T}{R}$, причем R, Z, T, K — затраты времени на соответствующие операции при старой организации; $q_{R,\,Z,\,K,\,T}$ — коэффициенты, отражающие сокращение этих временных затрат за счет внедрения новой организации.

Предварительная оценка повышения производительности полевых работ за счет введения новой организации проведена при следующих ограничениях. Принято, что K маршрутных геологов не упраздняется полностью, а лишь уменьшается на порядок ($q_K = 0{,}1$). Запись убыстряется минимально — лишь в три раза ($q_Z \approx 0{,}3$). Поскольку пока не предусматривается эффективизация операции t, а ускорение операции r не оценено, то $q_T = 1$ и $q_R = 1$. Проведенный с учетом этого анализ временных затрат геологов в нескольких десятках поисково-съемочных партий (по данным их начальников и главных геологов), проводящих съемку различных масштабов в самых разнообразных районах Союза, показал, что почти в 90% этих партий при внедрении новой организации производительность могла бы возрасти в 1,4—1,7 раза, в среднем — в полтора раза. Понятно, что высвобождаемые резервы времени могут быть обращены и на повышение качества работ. Потребность же в этом, например для съемки м-ба 1 : 50 000, настолько велика, что, по имеющимся данным, на северо-западе страны государство вынуждено мириться для улучшения качества с ежегодным удорожанием 1 $км^2$ съемки на 10—40%.

Технические средства предлагаемой организации — портативные радиопередатчики и диктофоны — серийно производятся нашей промышленностью и чрезвычайно быстро совершенствуются. Это дает основание считать предлагаемую организацию работ реальной. Тем более, что общая сумма затрат на ее реализацию (стоимость всей необходимой аппаратуры, зарплата машинистки и пр.) составляет от десятых долей до двух процентов полевых ассигнований съемочных партий — меньше стоимости одной автомашины.

Таким образом, в целом предлагаемая организация способна резко повысить согласованность маршрутных наблюдений, их целенаправленность и качество, снизить потери первичной информации в маршрутах и при составлении сводной геологической документации (в особенности — геологических карт), наконец, во многих случаях существенно повысить производительность полевых работ, а значит и удешевить их.

Общий вывод: предлагаемая организация полевых работ геологически оправдана, экономически целесообразна и технически реальна, а потому заслуживает опытной отработки в полевых условиях.

Авторы выражают благодарность Л. Н. Дуденко, оказавшему им большую помощь в выводе формулы для оценки повышения производительности, а также Е. Т. Шаталову, А. И. Бурде, В. Е. Гендлеру, А. С. Кумпану, Л. И. Боровикову, С. А. Музылеву и А. П. Марковскому за полезные обсуждения и критику положений этой статьи.

УДК (550.8 : 528.94) : 551.263.036

В. И. Драгунов

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ФОРМАЦИЙ

Проблема съемки геологических формаций полевыми методами поставлена Н. С. Шатским и Н. П. Херасковым. Н. С. Шатский (1965, стр. 53) писал: «Формации — геологические, естественно-исторические тела, которые можно научно описать и изучить только и прежде всего геологическими методами». Н. С. Шатский предсказывал: «В дальнейшем наука будет применять не только индексы возраста, но и индексы формаций. Это будет изумительно интересная геология» (там же, стр. 9).

В дальнейшем изложении формации понимаются как парагенезисы горных пород, т. е. парагенерации. Такое понимание формаций, соответствующее представлениям Н. С. Шатского и Н. П. Хераскова, позволяет изучать их полевыми геологическими методами и широко использовать при решении самых разнообразных геологических задач. Понятие о формации, как об определенном уровне организации вещества, дает возможность перенести в учение о формациях системы понятий, уже разработанные и успешно применяемые в других разделах геологии (Айнемер, 1968; Васильев, 1968; Драгунов, 1965; 1968; Круть, 1968 и др.).

Переход к достаточно детальному геологическому изучению перспективных на различные полезные ископаемые регионов, основывающемуся на методах геологической съемки, уже несколько лет назад поставил перед геологами ряд сложных задач (Шаталов, 1955). Эти задачи были определены А. С. Кумпаном (см. наст. сб., стр. 5—13), который показал, что наибольшей сложности комплекс методов геологической съемки достигает при ее проведении в м-бе 1 : 50 000. Это вполне понятно, если учесть, что именно в этом масштабе геологов в некоторых случаях перестают удовлетворять биостратиграфические методы и вместе с тем еще не сказываются преимущества более крупных масштабов, позволяющих изображать отдельные пласты и пачки горных пород на съемках типа проведенных Л. И. Лутугиным. В то же время при всех особенностях применения современной биостратиграфической основы все же не хочется картировать на крупномасштабных съемках объекты типа древнего метода красного песчаника и т. п. Выход можно найти в переходе к геологической съемке формаций и их последующему датированию и корреляции всеми доступными, в том числе и палеонтологическими, методами.

Операции, связанные с выделением, картированием и различного рода более частными исследованиями формаций, показаны в табл. 1.

Первые две группы операций — определения видов горных пород, определения границ монопородных тел и их мощностей выполняются обычными методами полевого послойного описания разрезов. Поскольку при этом важно однозначно определять виды горных пород, распространенные в районе исследований, и особенно те виды, которые являются формациеобразующими, их полевое определение должно быть уточнено при камеральной обработке.

Третья и четвертая группы операций — группирование монопородных тел (слоев осадочной толщи), выделение индивидов

Таблица 1

Операции, связанные со съемкой геологических формаций

Группы операций	Методы
Определение видов горных пород	Петрографические
Определение границ монопородных тел (слоев, линз и т. д.)	Послойное описание
Группирование монопородных тел (слоев, линз и т. д.) в однородные ассоциации по наборам видов слагающих их горных пород и структурным соотношениям — выделение формаций (парагенераций)	Формационные
Определение видов формаций (парагенераций)	
Съемка формаций (парагенераций)	Геологическое картирование
Изучение формаций (парагенераций) в различных целях	Геохимические, минералогические, литологические, стратиграфические, тектонические, минерагенические и пр.

формаций и определение их видов являются собственно формационными исследованиями. Значительную помощь при выделении формаций (как парагенезов горных пород, элементарных породных ассоциаций или парагенераций) может оказать описание разреза в форме таблицы-матрицы, по строкам и столбцам которой слева направо и сверху вниз последовательно записываются мощности слоев, сложенных определенным видом горной породы (табл. 2). Эта таблица может служить исходной для получения различных количественных характеристик выделяемых формационных тел и, в частности, позволяет уже в полевых условиях вычислить для описываемых формаций среднее значение h_m, квадратичное отклонение (S_m) и в качестве их частного — коэффициент вариации (S_m/h_m) мощностей слоев, сложенных теми или иными видами горных пород, а в камеральных условиях перейти к более сложным вычислениям на ЭВМ, в частности по методу Д. А. Родионова (1968).

Выделенные таким образом тела формаций должны быть определены в систематическом отношении и в этом смысле либо отнесены к уже известным видам формаций, либо выделены в новый вид. Именно при выполнении этой операции геологу в той же мере нужна профессиональная помощь специалиста формациолога, в какой ему нужна помощь палеонтолога при определении палеонтологических видов, а также химика, минералога и петрографа соответственно при получении химической, минералогической и петрографической характеристик горных пород. Опыт показывает, что многолетние исследования в одном регионе позволяют геологу уже в поле получать предварительные определения как палеонтологических остатков, так и минералов и гор-

Таблица 2

Таблица наблюдений систематических признаков формаций (парагенераций)

Номера слоев (или ритмов)	Виды горных пород						Формации (элементарные породные ассоциации, парагенерации)
	E^1	E^2	E^3	E^4	. . . .	E^m	
1	h_{11}	—	—	—	. . . .	—	A
2	—	h_{22}	h_{23}	—	. . . .	—	
3	—	h_{32}	h_{33}	—	. . . .	—	
4	—	h_{42}	h_{43}	—	. . . .	—	
5	—	h_{52}	h_{53}	—	. . . .	—	B
6	—	h_{62}	h_{63}	—	. . . .	—	
7	—	h_{72}	h_{73}	—	. . . .	—	
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . . .	. . .	
n—1	—	$h_{n-1,2}$	$h_{n-1,3}$	—	. . . .	—	
n	—	—	—	h_{n4}	. . . .	h_{nm}*	C

* h_{nm} — мощность слоя, образованного породой вида E^m в ритме (или слое) n.

ных пород. Создание специальных полевых определителей формаций, которое значительно облегчит задачу систематизации и полевого определения формаций, должно быть одной из первоочередных задач специалистов в самом ближайшем будущем. Сейчас можно лишь обратить внимание на одну из простейших форм фиксации результатов формационных исследований, облегчающую систематизацию формаций. Многословные, нередко малоинформативные и разнородные описания формаций могут быть сведены в компактные таблицы характеристик элементарных ячеек формаций (ритмов) (табл. 3).

Эта таблица позволяет использовать формальные приемы систематики (Олейников, 1968; Смирнов, 1969), что весьма существенно для достижения однозначной диагностики видов формаций.

Пятая группа операций состоит в прослеживании на площади индивидуальных тел формаций, выделенных в разрезе и отождествленных с тем или иным их видом. Прослеживание проводится обычными методами с использованием уже накопленного опыта съемки подразделений местной стратиграфической шкалы.

Специфической особенностью съемки формационных тел является следующее: во-первых, должна быть определена их систематическая принадлежность, а, во-вторых, тела формаций могут оказаться друг с другом в отношениях включения или переслаивания — вклинивания. С аналогами обоих случаев при съемке свит приходится встречаться весьма редко, тогда как при съемке формаций оба случая будут весьма частыми. В современной практике съемки рифовые известняки, образующие онкоиды (Андрусов, 1915), залегающие среди стратифицированных отложений, выделяемых в качестве свиты, или небольшой массив изверженных горных пород, встреченный в поле ее распространения, рассматриваются как включения в данной свите. При съемке формаций включения * формационных тел небольшого размера (в том числе и тех, которые не могут быть изображены в масштабе карты) в более крупных телах формаций иного вида будут, по-видимому, довольно обычным явлением. Эти включения могут быть важны в каком-либо отношении и тогда их можно изображать внемасштабными знаками.

* Ю. А. Косыгин, Ю. А. Воронин (1966) понятие о включении противопоставляют понятию о структурном элементе. Автор статьи применял и применяет термин включение в обычном его понимании: для обозначения тела одного вида, включенного в тело другого или того же вида.

В латеральном направлении смена формационных тел будет фиксироваться их переслаиванием. В этом случае возможны различные способы изображения на карте зоны взаимоперехода формаций — от непосредственного изображения их «клиньев» до выражения в форме изолиний процентного содержания, рассчитанного по соотношению мощностей формаций разных видов.

Разделение четвертой и пятой групп операций и понимание их существенного различия весьма важно; смешение их может привести к серьезным ошибкам в определении систематических и индивидуальных границ выделяемых формационных подразделений.

Понимание формации как тела определенного уровня организации и определенного вида в пределах последнего позволяет указать некоторые аналогии в операциях с телами иных уровней организации. Эти аналогии, лишь внешне кажущиеся неожиданными, существенно помогают разобраться в рассматриваемых вопросах.

Сопоставим операции описания шлифа и серии профилей (разрезов) формаций (рис. 1). В обоих случаях приходится определять наборы видов тел, представленных в сечениях — минералов в шлифе и формаций в серии разрезов. При осмотре шлифа петрограф, определяя контуры зерен минералов, способен сразу схватить всю площадь наблюдения. Однако если изучение шлифа проводить с тем или иным механическим приспособлением, сдвигающим каждый раз его анализируемое сечение (например, с тем или иным интегратором), то в этом случае поле шлифа расчленяется серией сечений, между которыми приходится интерполировать индивидуальные границы минеральных зерен. На рис. 1*а* намечены сечения шлифа и порядок их просмотра при определении границ зерен минералов видов *А* и *Б*. Этот же рисунок может быть иллюстрацией схемы выделения и картирования формаций магматических нестратифицированных пород. На рис. 1*б* изображены положения и порядок просмотра профилей стратифицированных формаций, позволяющий определить виды формационных тел на площади съемки и их

Таблица 3

Таблица систематических признаков формационных видов

Формация	Кол-во ритмов	Виды горных пород ($E^1 \ldots E^m$), среднее значение мощностей (h) и стандарт (S)											
		E^1		E^2		E^3		E^4		. . . .	E^m	
		h_1	S	h_2	S	h_3	S	h_4	S		h_m	S
A*	n_A	$n_{1(A)}$	$S_{(A)}$	—	—	—	—	—	—	. . . .	—	—
B*	n_B	—	—	$h_{2(B)}$	$S_{(B)}$	$h_{3(B)}$	$S_{(B)}$	—	—	. . . .	—	—
C*	n_C	—	—	—	—	—	—	$h_{4(C)}$	$S_{(C)}$	. . . .	$h_{m(C)}$	$S_{(C)}$

* Может быть дано географическое или иное собственное наименование.

индивидуальные границы. Этот рисунок может рассматриваться как схема прослеживания границ формационных тел по их разрезам вдоль одного из профилей, так и в качестве схемы картирования площади по профилям (в данном случае в условиях моноклинального залегания).

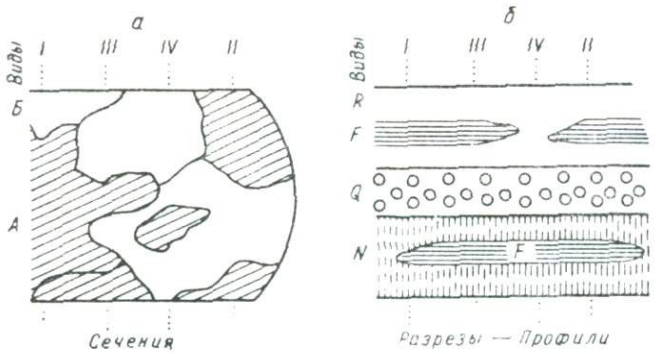


Рис. 1, *а, б*. Сопоставление операций определения индивидуальных границ зёрен минералов в шлифе и формационных тел неправильной формы на карте формаций (*а*), а также операций определения границ индивидуальных тел стратифицированных формаций (*б*).

I — IV — последовательно изучаемые сечения или разрезы.

В зависимости от дислоцированности отложений, рельефа и масштаба съемки минимальная и максимальная мощность формационных тел, которые могут быть изображены на карте, не остается постоянной

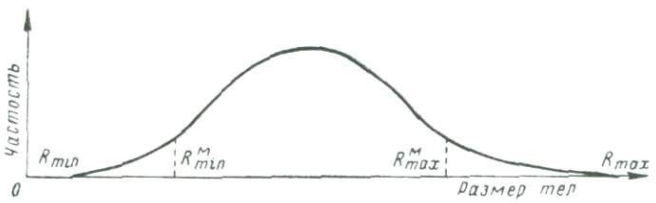


Рис. 2. Кривая распределения размеров тел (по Косыгину-Воронину, 1966; с дополнениями и изменениями).

$R^m{}_{min}$ — минимальный размер тела, изображающегося в масштабе М. $R^m{}_{max}$ — максимальный размер тел, которые целесообразно изображать в масштабе М. Тела, отвечающие отрезку (R_{min}, $R^m{}_{min}$), изображаются внемасштабным знаком; тела, отвечающие отрезку $R^m{}_{min}$, $R^m{}_{max}$), изображаются в масштабе; тела, отвечающие отрезку ($R^m{}_{max}$, R_{max}), подлежат расчленению и более детальному изображению.

(рис. 2). Нижний предел мощности таких тел определяется возможностью показать их на карте в виде полосы шириною не менее 0,8 *мм* и поля не менее 2 *мм*^{2}, в противоположном случае их придется изображать либо внемасштабным знаком, либо объединять с выше или ниже лежащими телами под несколькими индексами.

Верхний предел менее определенен, хотя очевидно, что нет смысла составлять карту, на площади которой значительнейшие участки изображают поля распространения одной или немногих формаций. В этом случае можно либо изменить масштаб карты, либо прибегнуть к показу особенностей, которые могут быть вскрыты внутриформационным анализом (Иванов, 1968).

При выборе масштаба съемки следует ориентироваться на наиболее характерные для исследуемой территории размеры горизонтальных

проекций сечений формационных тел в рельефе (зависящие, как было уже отмечено, от их мощности, дислоцированности и сложности рельефа).

Не останавливаясь более подробно на деталях, заметим, что при съемке осадочных формаций могут быть использованы некоторые общие положения, выработанные в ходе картирования интрузивных и эффузивных формаций *, вулканических формаций **, а также использован опыт картирования формаций как палеогеографических (Попов и др., 1963) или литолого-фациальных (Цейслер, 1967) единиц.

Шестая группа операций связана с различными конкретными целевыми исследованиями формационных тел различными методами. Эти операции могут определяться изучением вещества формаций на минералогическом и химическом уровнях, изучением распространенных в формациях палеонтологических остатков и т. д. — с одной стороны, равно как с использованием самих формационных тел в целях стратиграфического расчленения разрезов, минерагенического, тектонического районирования и т. д. — с другой стороны.

В стратиграфическом отношении формации, как таковые, исходя из положения о том, что вещество различных уровней организации характеризуется специфическими пространственно-временными закономерностями, могут быть использованы как для расчленения разрезов, так и для их сопоставления. Среди видов формаций могут быть руководящие для того или иного этапа (например, меловая формация, характерная для верхнего мела и палеогена, джеспилитовая — для раннего докембрия и т. д.) и могут быть (в большинстве!) формации широкого вертикального распространения.

Следует подчеркнуть, что стратиграфические границы, выделяемые по формациям или, иными словами, формационно-стратиграфические границы, по-видимому, наилучшим образом помогут определить геоисторические этапы развития земной коры и их стадии. Однако эта проблема не может решаться формационными съемками на ограниченной территории. В ходе этих работ приходится больше всего считаться с другим следствием пространственно-временной специфики формаций как вещества определенного уровня организации — а именно с тем, что формационное тело считается одновременным в своем образовании во всех его частях, поскольку оно рассматривается как тело формационного уровня организации. В этом смысле для формации могут рассматриваться (равно как и для индивидов химических элементов, минералов и т. д.) только два состояния — существовать или не существовать. Естественно, что изучение формаций на уровне химических элементов, минералов, горных пород, распределения палеонтологических остатков позволяет провести исследование пространственно-временных соотношений формационных тел на соответствующем уровне. В этом смысле следует четко различать биостратиграфические, минералого-стратиграфические, радиологические и другие методы корреляции формаций и собственно формационно-стратиграфические подразделения, выступающие как подразделения, отображающие историю становления и отмирания различных видов формаций. Формационно-стратиграфические подразделения есть не что иное, как хорошо знакомые подразделения геоисторической или геотектонической шкалы.

Поскольку геологи при изучении осадочных толщ располагают достаточно совершенными методами их расчленения и корреляции, почти всегда можно выявить практически изохронные границы в пределах исследуемой территории. Тогда возникает возможность, приняв

---

* Принципы геологического картирования интрузивных и эффузивных формаций. М., Госгеолтехиздат, 1960.

** *Методика картирования вулканических формаций. М., Наука, 1969.*

одновременность образования формаций в контуре этих границ, провести тектоническое районирование территории и типизацию выделяемых зон (рис. 3).

Большинство видов формаций, равно как минералов и горных пород, конвергентны по своему происхождению и структурному положению и лишь некоторые из них являются типоморфными.

Различия складчатых зон и платформ первоначально были выявлены как различия в мощностях слагающих их одновозрастных отложений. Позднее стало ясно, что и вещественный состав этих территорий, изученный на разных уровнях организации — от химических элементов,

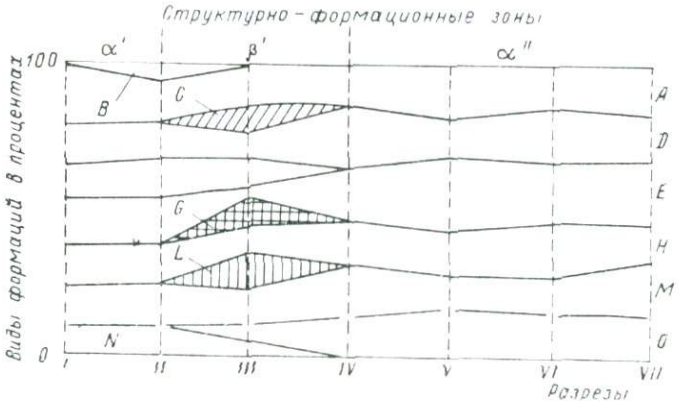


Рис. 3. График формационного состава структурно-формационных зон и их типизации (обратить внимание на аналогию с графиками химического или минералогического составов серии образцов).

I — VII — разрезы; *α'* и *α''* — формационные зоны типа *α*, *β'* — формационная зона типа *β*; A—O — виды формаций.

минералов и горных пород до оболочек, существенно различен, причем различия являются статистическими различиями в концентрациях вещества тех или иных видов в пределах того или иного уровня.

Статистический подход к решению проблем тектонического районирования на формационном уровне (Драгунов, 1968 а, б) позволяет использовать количественные оценки, которые совместно с количественными оценками структурных особенностей регионов (Погребицкий, 1966) могут стать вполне объективными критериями выделения структурно-формационных зон.

В минерагеническом отношении среди формаций могут различаться: а) формации, полностью сложенные полезными ископаемыми, например угольная и соляная, образованные соответственно углем и солью; б) формации, часть формациеобразующих пород которых являются полезными ископаемыми, например угленосная и соленосная, в элементарной ячейке которых, кроме других пород, закономерно присутствуют соответственно угли и соли; в) формации, в составе которых полезные ископаемые присутствуют в виде акцессориев на одном (или нескольких) уровнях организации — акцессорных (для формации данного вида!) горных пород, минералов или химических элементов.

Формации всех этих типов, естественно, должны быть особенно тщательно исследованы и оценены в прикладном отношении.

В заключение подчеркнем, что широкий комплекс геологических, петрографических, минералогических, геохимических и палеонтологических (а также других) исследований, используемых в современной практике геологических съемок, основывающейся на выделении одно-

родных в биостратиграфическом отношении геологических тел, может быть использован и при съемке геологических формаций — как геологических тел, однородных в формационном отношении.

ЛИТЕРАТУРА

Айнемер А. И. Элементарные породные ассоциации (парагенерации) как однородные геологические совокупности и математическое моделирование процессов образования. Матер. совещ. «Геологические формации», вып. 1, Л., ВСЕГЕИ, 1968.

Андрусов Н. И. Онкоиды и стратоиды. Геол. вестник 1, № 3, 1915.

Васильев В. И. Некоторые понятия формационного анализа. Матер. совещ. «Геологические формации», вып. 1, Л., ВСЕГЕИ, 1968.

Вассоевич Н. Б. История представлений о геологических формациях (геогенерациях). Тр. ВСЕГЕИ, т. 128, 1966.

Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. Л., Наука, 1965.

Воронин Ю. А. и др. Геология и математика. Новосибирск. Наука, 1967.

Драгунов В. И. Геология и изучение элементов, структуры и уровней организации вещества. Матер. совещ. «Общ. закономерн. геолог. явлений», вып. 1, Л., ВСЕГЕИ, 1965.

Драгунов В. И. Основные понятия учения о геологических формациях. Матер. совещ. «Геологические формации», вып. 1, Л., ВСЕГЕИ, 1968.

Драгунов В. И. Статистические аспекты геотектонического районирования. Тезисы докл. VI сесс. научн. совета по тектонике Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, СО АН СССР, 1968.

Драгунов В. И. О петрохимическом и геохимическом изучении формаций (парагенераций). В кн. «Вопр. петрохимии». Л., ВСЕГЕИ, 1969.

Иванов Р. Внутриформационный анализ магматизма. Изв. Геол. ин-та Болгарск. акад. наук, кн. XVII, 1968.

Косыгин Ю. А., Воронин Ю. А. Развитие представлений о геологическом пространстве как возможная основа применения математики в геологии. Изв. АН СССР, серия геол., № 12, 1966.

Круть И. В. К состоянию учения о геологических формациях. Изв. АН СССР, серия геол., № 9, 1968.

Круть И. В. Положение геологических формаций в геологическом пространстве. Матер. совещ. «Геологические формации», вып. 1, 1968.

Олейников А. Н. Метод ранговых эталонов при построении многомерных диагностических критериев. Тр. ВСЕГЕИ, т. 150, 1968.

Погребицкий Ю. Е. Опыт применения количественной характеристики в тектонике. Зап. Ленингр. горн. ин-та, т. 4, вып. 2, 1966.

Попов В. И., Макарова С. Д., Станкевич Ю. В., Филиппов А. А. Руководство по определению осадочных фациальных комплексов и методика фациально-палеогеографического картирования. Тр. Пробл. лабор. осад. формаций и осад. руд. Л., Гостоптехиздат, 1963.

Родионов Д. А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. М., Недра, 1968.

Рухин Л. Б. Основы литологии. Л., Гостоптехиздат, I изд., 1953; II изд. Недра, 1969.

Смирнов Е. С. Таксономический анализ. М., МГУ, 1969.

Хаин В. Е. Общая геотектоника. М., Недра, 1964.

Херасков Н. П. Геологические формации (опыт определения). Избр. тр. М., Наука, 1967.

Хворова И. В. Флишевая и нижнемолассовая формации Южного Урала. Тр. ГИН АН СССР, вып. 37, 1961.

Цейслер В. М. Некоторые вопросы методики составления формационных карт. Бюлл. Моск. отд. геол., т. 42, вып. 6, 1967.

Шаталов Е. Т. За усиление геологического картирования для поисков полезных ископаемых. Сов. геология, № 42, 1955.

Шатский Н. С. (1955) Фосфоритоносные формации и классификация фосфоритовых залежей. Избр. тр., т. III, М., Наука, 1965.

РЕФЕРАТЫ СТАТЕЙ, ПОМЕЩЕННЫХ В СБОРНИКЕ «МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ»

Труды ВСЕГЕИ, новая серия, том 198, 1973 г.

УДК 550.8 : 528.94

Основные тенденции развития и проблемы геологической съемки. *Кумпан А. С.* Стр. 5—13

В статье рассмотрены основные тенденции развития геологической съемки и ее проблемы в области изучения глубинного геологического строения территорий, корреляции и расчленения осадочных магматических и метаморфических образований, разработки количественных показателей достоверности геологических карт и их соответствия заданному масштабу.

УДК 550.8 : 528.94(47+57)

Районирование СССР по условиям проведения крупномасштабных геологосъемочных работ. *Бурдэ А. И., Горбунов Б. Н.* Стр. 14—17.

В статье приводятся классификации районов по геологическим условиям проведения геологосъемочных работ и группам полезных ископаемых, определяющим специализацию исследований при этих работах. Кратко характеризуется направление проведения геологосъемочных работ в разных частях СССР.

Библ. 2.

УДК 550.814 : 528.77

Предварительное инструментальное дешифрирование аэрофотоснимков и его значение для составления геологических карт. *Донских В. В., Наркевич В. И., Николаев В. Ф., Рожко Е. Е.* Стр. 18—26

В статье подробно описывается методика инструментального геологического дешифрирования аэрофотоснимков, позволяющая снизить потери информации при работе с аэрофотоматериалами открытых районов со сложным геологическим строением. Важным моментом новой организации дешифрирования является резкое увеличение роли предполевого камерального периода при составлении геологических карт.

Илл. 2, библ. 4.

УДК 550.8 : 528.94 : 551.21

Изучение древних вулканических аппаратов и палеовулканические реконструкции при крупномасштабной геологической съемке. *Донских В. В., Зелепугин В. Н., Кронидов И. И., Дитмар Г. В.* Стр. 27—39

В статье выделены основные признаки вулканических аппаратов в районах с разным эрозионным срезом и в зависимости от этого приведен наиболее рациональный комплекс методов для изучения древних вулканов и показаны примеры их реконструкции.

Табл. 1, илл. 9.

УДК (550.8+550.83) : 552.321.1

Методы объемного изучения гранитных интрузий. *Духовский А. А., Николаев В. Ф., Бузкова Н. Г., Молоткова М. Н., Рыбаков М. Б.* Стр. 40—50

В статье изложены предварительные соображения о применимости геолого-геофизических методов геологической съемки рудных районов, которые могут решить задачу объемного изучения гранитных интрузий, включая определение их формы и внутреннего строения.

Илл. 4, библ. 13.

УДК (550.8 : 528.94) : 552.4

О методах расчленения метаморфических толщ применительно к задачам крупномасштабной съемки. *Черноморский М. А.* Стр. 51—56

В статье излагаются методы расчленения метаморфических толщ в ходе крупномасштабного геологического картирования, базирующиеся на данных литологии (петрографии), стратиграфии, структурного анализа, метаморфизма, радиологии и геофизики.

Илл. 2, библ. 10.

УДК 552.4 : (552.122+552.124.3)

Современные методы выявления первичной природы метаморфических пород. *Васильева В. И., Хильтов В. Я., Савельев А. А., Саминина И. А.* Стр. 57—66

Указаны важнейшие критерии реконструкции первичной природы метаморфических пород — геологические условия залегания и парагенетические ассоциации: реликтовые текстуры и структуры, химизм пород и акцессорные минералы. Отмечается, что только комплексное использование вышеперечисленных признаков дает надежные результаты.
Илл. 1, библ. 26

УДК [550.8 : 528] : 552.4 (571.5)

Опыт средне- и крупномасштабной геологической съемки метаморфических комплексов докембрия Алданского щита. *Миронюк Е. П., Любимов Б. К., Магнушевский Э. Л.* Стр. 67—78

Излагается комплексный структурно-петрографо-стратиграфический метод расчленения сильно метаморфизованных раннедокембрийских образований, для выяснения генезиса которых предложен петропарагенетический анализ. Рассматриваются вопросы зональности метаморфизма и гранитообразования.
Илл. 2

УДК (550.8 : 528.94) : 551.311.231

Основные задачи и принципы геологического картирования кор выветривания. *Цехомский А. М.* Стр. 79—85.

В статье рассматриваются особенности исследований, связанных с картированием кор выветривания в различных масштабах. При мелкомасштабном картировании рекомендуется составление литолого-палеогеографических карт, при средне- и крупномасштабном картировании должны составляться геолого-литологические карты кор выветривания. В результате детальных исследований кор, проводимых в процессе поисков и разведок тех или иных полезных ископаемых или при инженерно-геологических и других специальных работах, составляют особые карты кор выветривания.

УДК (550.8 : 528.94) : 551.311.231

Особенности крупномасштабной геологической съемки районов развития кор выветривания. *Ли П. Ф., Певзнер В. С.* Стр. 86—90

В статье рассматриваются основные принципы геологической съемки районов развития кор выветривания, способы составления различных карт и методы изучения состава элювиальных пород.
Илл. 1

УДК 550.8 : 528.94

Использование вязкой намагниченности для определения возраста четвертичных террас и морей при геологической съемке. *Кочегура В. В., Шолпо Л. Е.* Стр. 91—94

В статье излагается метод определения возраста четвертичных террас и морен по изучению вязкой намагниченности отдельных галек.
Табл. 1, илл. 1, библ. 2

УДК 551.4 : 51

О системе информативных признаков рельефа. *Миханков Ю. М.* Стр. 95—100

Приводятся данные о возможности построения системы наиболее существенных (информативных) признаков рельефа для выявления связи между определенными геологическими обстановками, благоприятными для образования полезных ископаемых, и рельефом, развитым в их пределах. В качестве попытки установления удельного веса различных морфологических и генетических признаков приведены примеры цифрового кодирования двух классификаций рельефа и предварительное ранжирование переменных признаков.
Табл.2

УДК (550.4+549) : 553.068.41

Минералого-геохимическое изучение зон окисления сульфидных месторождений с поисковыми целями при геологической съемке. *Цыкункова Н. А.* Стр. 101—115

В статье рассматриваются методические вопросы, связанные с изучением гипергенных образований зон окисления сульфидных месторождений. В этом плане подчеркивается роль визуальных наблюдений, позволяющих выявлять морфологические особенности гипергенных образований, характерных для окисления рудных тел.

Предлагается схема последовательности обработки и изучения отобранных образцов и проб окисленного материала.

Рекомендуется выделять различные по значимости группы гипергенных минералов-индикаторов и ассоциации рудогенных элементов, установленные в гипергенных образованиях.

Эти данные могут быть использованы в целях поисков сульфидных месторождений и суждения о характере сульфидной минерализации.

Табл. 8, илл. 2, библ. 11

УДК (550.8 : 528.94) : 556.314

Использование гидрогеохимического метода при крупномасштабной геологической съемке и поисках. *Белякова Е. Е.* Стр. 116—126

В статье рассматриваются вопросы применения гидрохимических данных для решения различных задач геологической съемки и поисков и даются рекомендации по методике обработки и интерпретации гидрохимической информации.

Табл. 1, библ. 5

УДК 550.87 : (550.8 : 528.94)

Ботанические методы исследований при крупномасштабной геологической съемке и поисках. *Васильева Н. Н., Загребина Н. А., Масютина С. А.* Стр. 127—144

В статье изложена сущность геоботанического и биогеохимического методов. Рекомендованы методы организации и этапы проведения полевых ботанических (геоботанических и биогеохимических) исследований, способы камеральной обработки фактического материала и принципиально новые методы интерпретации биогеохимических данных (метод кларков концентрации, метод коэффициентов аномальности) в целях решения геологических и поисковых задач при геологических съемках м-бов 1 : 50 000—1 : 25 000.

Табл. 3, илл. 5, библ. 15

УДК 550.8 : 528.94

Принципы рационального сочетания исследований при крупномасштабных геологосъемочных работах и некоторые общие вопросы его определения. *Бурдэ А. И.* Стр. 145—152

В статье рассматриваются общие принципы и пути определения рационального комплекса методов исследования, типовые комплексы исследований при проведении съемок в различных условиях, основные формы организации геологосъемочных работ и дальнейшие направления разработки методики определения рационального комплекса.

Табл. 2, библ. 10

УДК 550.8 : 51

Некоторые применения теории вероятностей к характеристике методов поисков, оценке степени опоискованности района и достоверности результатов поисков. *Бурдэ А. И.* Стр. 153—158

Для характеристики методов поисков предлагается использовать единичную вероятность g или γdL обнаружения объекта поисков элементарным поисковым испытанием (пробой, отрезком маршрута и т. п.) и ошибки первого $(1 - Q)$ и второго рода $(1 - R)$. Для оценки степени опоискованности района предлагается использовать вероятность обнаружения объекта. Оценку достоверности результатов поисков предлагается проводить по формуле Байеса.

Табл. 3, библ. 2

УДК 550.8 : 528.94

Применение палеотектонического анализа при геологической съемке складчатых областей на примере некоторых районов Урала. *Кондиайн А. Г.* Стр. 159—163

В статье дается представление о степени применимости и большом значении палеотектонического (историко-тектонического) анализа для повышения качества планирования и ведения крупномасштабных поисково-съемочных работ в складчатых областях. Рекомендуется предварительное проведение палеотектонических построений путем составления палеотектонических и палеогеологических карт и профилей для последовательного ряда временных интервалов.

Библ. 7

УДК 55(084.3)

Принципы подготовки к изданию материалов крупномасштабных геологосъемочных работ. *Вознесенский В. Д., Добрецов Г. Л.* Стр. 164—169.

Рассматриваются принципы составления и подготовки к изданию крупномасштабных карт — геологической, карты полезных ископаемых и карты закономерностей размещения полезных ископаемых и прогнозов, а также принципы построения Атласов геологических карт по важнейшим горнопромышленным районам СССР.

УДК 551.263.036/.038

Принципы формационного анализа при геологической съемке. *Немцович В. М.* Стр. 170—177

На основе учета разных ведущих принципов (парагенетического, тектонического, фациального, петрогенетического) приводятся определения осадочной (осадочно-эффузивной), интрузивной и рудной формации. Предлагается классификация геологических формаций, в которой учитывается их положение в истории развития геоструктурных зон, а также фациальные условия, даются рекомендации по методике формационного анализа в процессе геологической съемки.

Табл. 1, библ. 7

УДК 550.8.003./3

Система управления полевыми работами в геологической партии. *Жуков Р. А., Ткачев Ю. Р.* Стр. 178—183

Обсуждается вариант общего решения проблемы эффективизации поисково-съемочных работ применительно к любым видам и условиям полевых исследований. На основе использования портативной приемно-передающей и звукозаписывающей аппаратуры предлагается организация поисково-съемочных работ в виде системы оперативного управления процессами маршрутного геологического изучения территорий и картосоставления. Обосновывается технико-организационная реальность предлагаемой системы и ее экономическая эффективность.

УДК (550.8 : 528.94) : 551.263.036

Геологическая съемка стратифицированных формаций. *Драгунов В. И.* Стр. 184—191

Геологическая съемка формаций предполагает выполнение нескольких операций: а) группирование слоев горных пород, слагающих разрезы в ассоциации по наборам видов горных пород и структурным отношениям образуемых ими слоев. По этим систематическим признакам определяется вид (или тип) абстрактной формации и индивидуальные границы относящейся к нему конкретной формации; б) прослеживание на местности и отражение на карте в определенной легенде и масштабе выделенных формаций; в) дополнительное изучение выделенных формаций различными методами в зависимости от поставленных целей — общегеологических, тектонических, минерагенических и т. д.

Подчеркивается, что комплекс геологических ,петрографических, минералогических, геохимических, палеонтологических и других исследований, используемых в современной практике геологической съемки, основывающейся на выделении и картировании однородных в биостратиграфическом отношении геологических тел, может быть использован и при съемке и изучении геологических тел формаций, иными словами, формационно-однородных тел.

Табл. 3, илл. 3, библ. 26.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3

А. С. Кумпан. Основные тенденции развития и проблемы геологической съемки 5

А. И. Бурдэ, Б. Н. Горбунов. Районирование СССР по условиям проведения крупномасштабных геологосъемочных работ 14

В. В. Донских, В. И. Наркевич, В. Ф. Николаев, Е. Е. Рожко. Предварительное инструментальное дешифрирование аэрофотоснимков и его значение для составления геологических карт 18

В. В. Донских, В. Н. Зелепугин, И. И. Кронидов, Г. В. Дитмар. Изучение древних вулканических аппаратов и палеовулканические реконструкции при крупномасштабной геологической съемке 27

А. А. Духовский, В. Ф. Николаев, Н. Г. Бузкова, М. Н. Молоткова, М. Б. Рыбаков. Методы объемного изучения гранитных интрузивов 40

М. А. Черноморский. О методах расчленения метаморфических толщ применительно к задачам крупномасштабной съемки 51

В. И. Васильева, В. Я. Хильтова, А. А. Савельев, И. А. Саминина. Современные методы выявления первичной природы метаморфических пород 57

Е. П. Миронюк, Б. К. Любимов, Э. Л. Магнушевский. Опыт средне- и крупномасштабной геологической съемки метаморфических комплексов докембрия Алданского щита 67

А. М. Цехомский. Основные задачи и принципы геологического картирования кор выветривания 79

П. Ф. Ли, В. С. Певзнер. Особенности крупномасштабной геологической съемки районов развития кор выветривания 86

В. В. Кочегура, Л. Е. Шолпо. Использование вязкой намагниченности для определения возраста четвертичных террас и морей при геологической съемке 91

Ю. М. Миханков. О системе информативных признаков рельефа . . 95

Н. А. Цыкункова. Минералого-геохимическое изучение зон окисления сульфидных месторождений с поисковыми целями при геологической съемке . 101

Е. Е. Белякова. Использование гидрогеохимического метода при крупномасштабной геологической съемке и поисках 116

Н. Н. Васильева, Н. Л. Загребина, С. А. Масютина. Ботанические методы исследований при крупномасштабной геологической съемке и поисках 127

А. И. Бурдэ. Принципы рационального сочетания исследований при крупномасштабных геологосъемочных работах и некоторые общие вопросы его определения 145

А. И. Бурдэ. Некоторые применения теории вероятностей к характеристике методов поисков, оценке степени опоискованности района и достоверности результатов поисков 153

А. Г. Кондиайн. Применение палеотектонического анализа при геологической съемке складчатых областей на примере некоторых районов Урала . 159

В. Д. Вознесенский, Г. Л. Добрецов. Принципы подготовки к изданию материалов крупномасштабных геологосъемочных работ 164

В. М. Немцович. Принципы формационного анализа при геологической съемке 170

Р. А. Жуков, Ю. Р. Ткачев. Система управления полевыми работами в геологической партии 178

В. И. Драгунов. Геологическая съемка стратифицированных формаций 184

МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

том 221

Редактор *Г. А. Полиевская*
Технический редактор *Т. В. Гвоздева*
Корректоры *Л. В. Белова, Т. С. Гуляева, Е. Е. Вагунина*

Сдано в набор 4/VII 1973 г. Подписано в печать 28/XII 1973 г. М-07828.
Формат 70×108¹/₁₆. Бумага тип. № 2. Печ. л. 12¹/₄. Усл. л. 17,15.
Уч.-изд. л. 16,47. Тир. 700 экз. Цена 1 р. 65 коп. Заказ № 524.

Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология»

1 р. 65 к.

П 4
том 221