

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ВСЕГЕИ)

ОСНОВЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Методические рекомендации

ЛЕНИНГРАД
1974

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ВСЕГЕИ)

551.311.23/

ОСНОВЫ
РЕГИОНАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ
КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Методические рекомендации

Под общей редакцией
А. М. ЦЕХОМСКОГО

ЛЕНИНГРАД
1974



1284

УДК 551.311.231 : 001.8

Основы регионального изучения кор выветривания. Методические рекомендации. Л., 1974, 216 с. (М-во геологии СССР. Всесоюз. ордена Ленина науч.-исслед. геол. ин-т).

Сост.: А. М. Цехомский, Ю. К. Бурков, И. В. Васильев и др.

В настоящих рекомендациях рассматриваются важнейшие проблемы теории, относящиеся к условиям формирования кор выветривания и закономерностям их пространственного размещения. Формулируются задачи и принципы изучения кор выветривания, уточняются основные понятия и термины, связанные с их характеристикой.

Большое внимание уделяется изложению принципов мелко-масштабного картирования и составления литолого-палеогеографических карт кор выветривания; даются рекомендации по средне-, крупномасштабному и детальному картированию кор.

Приводятся сведения методического характера о проведении геоморфологических, геохимических, петрографо-минералогических исследований, входящих в комплекс работ по региональному изучению кор выветривания. Выясняется возможность использования в этом направлении данных палеоботаники и математических методов.

Работа рассчитана на широкий круг геологов, для которых она может служить кратким пособием при изучении кор выветривания и прогнозировании связанных с последними месторождений полезных ископаемых.

Таблиц 15, иллюстраций 21, список литературы — 452 назв.

Составители:

**А. М. ЦЕХОМСКИЙ, Ю. К. БУРКОВ, И. В. ВАСИЛЬЕВ,
И. А. ГИМПЕЛЬСОН, Д. И. КАРСТЕНС, Г. В. КУЛИКОВА,
Б. М. МИХАЙЛОВ**

ВВЕДЕНИЕ

В наше время чрезвычайно быстро происходит накопление данных о процессах, протекающих в верхней оболочке земной коры, в частности о формировании и распространении кор выветривания. Исследованием последних занимаются многие научные и производственные организации. Коры выветривания изучаются геологами, почвоведом, гидрохимиками, геофизиками, строителями. Однако в зависимости от поставленной цели исследователи освещают различные особенности изучаемых объектов, в силу чего получаемые данные часто сопоставляются с большим трудом. Но даже материалы однонаправленных работ во многих случаях не согласуются между собой из-за неопределенности в толковании многих явлений, вызывающих выветривание горных пород, отсутствия общепринятой терминологии и единой методики исследования. Все это отрицательно сказывается на использовании получаемых результатов.

Кроме того, материалы большинства исследований не дают регионального освещения кор выветривания, а относятся к отдельным пунктам их развития, отстоящим один от другого нередко на огромное расстояние. Только для немногих территорий частично обобщены такие материалы и составлены специальные геологические карты или палеогеографические схемы.

В дальнейшем объем работ по изучению кор выветривания, несомненно, будет увеличиваться, а основным методом исследований явится картирование, позволяющее наиболее полно охарактеризовать их геологические особенности и закономерности размещения связанных с корами выветривания полезных ископаемых. Помимо карт сравнительно небольших площадей, изучаемых при детальном поисках и разведках месторождений экзогенных руд и неметаллического сырья, для решения более общих вопросов необходимо составление карт кор выветривания крупных регионов территории СССР.

Сказанное делает совершенно необходимым определение задач, которые должны решаться на разных стадиях изучения кор выветривания, конкретизацию главнейших понятий и терминов, связанных с характеристикой этих образований, и установление для их

исследования хотя бы основных методических положений. Последнее особенно важно для работ по картированию кор выветривания. Как и любые геологические карты, карты кор должны составляться по единому принципу; только в этом случае их можно использовать для сводных работ и для решения региональных вопросов, главным образом для выявления перспектив больших территорий в отношении полезных ископаемых.

Цель предлагаемой работы заключается, таким образом, в том, чтобы наметить задачи, по возможности уточнить терминологию и осветить основные вопросы методики изучения кор выветривания, в первую очередь методики их картирования.

Работа состоит из девяти разделов. В первом разделе излагается существо проблемы изучения кор выветривания и определяются основные направления исследований.

Второй и третий разделы посвящены разбору вопросов, связанных с характеристикой кор выветривания. В них рассматриваются наиболее важные теоретические положения, касающиеся условий формирования и пространственного размещения кор, уточняются основные понятия и термины, связанные с описанием кор выветривания, дается схема их классификации.

В четвертом разделе разбираются общие вопросы методики картирования кор выветривания. Здесь определяются типы карт и формулируются требования, которые должны предъявляться к таким картам в зависимости от масштаба, описываются главные операции полевых и камеральных работ, выполняемых при изучении кор выветривания.

В остальных разделах содержатся основные сведения методического характера, касающиеся проведения отдельных видов работ, относящихся к общему комплексу операций, выполняемых в процессе регионального изучения кор выветривания. Сюда входят геоморфологические, геохимические, петрографо-минералогические исследования. Кроме того, один из разделов посвящен вопросу применения математических методов при расшифровке последовательности изменения горных пород в процессе выветривания и установлению возникающих при этом рядов подвижности химических элементов. Последний раздел касается роли палеоботаники в восстановлении климатических условий прошлого, являющихся одним из главных факторов, определяющих тип выветривания.

Общая задача составления методических разделов заключалась в ознакомлении читателей со специализацией, значением, последовательностью выполнения тех или иных исследований применительно к изучению кор выветривания и с имеющейся литературой по методике этих исследований¹.

Написаны методические разделы несколькими авторами. Построение их в ряде случаев отличается от первоначально намечен-

¹ Материалы, полученные после 1969 г., удалось использовать только частично.

ного общего плана. Изменить это и добиться при редактировании работы полного единообразия в построении методических разделов оказалось невозможным в силу специфичности рассматриваемых вопросов, неодинаковой полноты и различного характера имеющихся данных.

Работа такого плана написана впервые и, несмотря на большое количество затронутых вопросов, является далеко не полной. В ней, например, почти не освещены условия выветривания и особенности кор наиболее древних периодов геологической истории, не рассмотрены материалы по метаморфизму продуктов таких кор, не разобран с нужной детальностью принцип прогнозирования конкретных полезных ископаемых, связанных с корами выветривания. Эти вопросы представляют большой научный и практический интерес, но должны явиться темой самостоятельного исследования.

Книга написана А. М. Цехомским, Ю. К. Бурковым, И. В. Васильевым, И. А. Гимпельсоном, Д. И. Карстенс, Г. В. Куликовой, Б. М. Михайловым. Кроме того, в рассмотрении вопроса о роли подземных вод в формировании кор выветривания принимал участие Л. Г. Заварзин.

Отдельные части книги были просмотрены Г. И. Бушинским, Е. А. Басковым, М. С. Гуревичем, Е. И. Корнутовой, Г. Т. Матвеевко, З. А. Сваричевской, Л. П. Смирновым, Ю. Ф. Чемяковым, сделавшими ряд ценных замечаний. Весьма важные указания и советы, касающиеся главным образом гидрохимии гипергенных процессов, были даны Е. Е. Беляковой, взявшей на себя труд полностью просмотреть рукопись книги. Всем указанным лицам авторы приносят искреннюю благодарность.

Авторы представляют себе, что предлагаемая работа не охватывает всей проблемы и имеет ряд других недостатков. Однако они будут считать свою задачу выполненной, если книга сможет найти себе применение и окажется полезной, хотя бы как временное пособие, при проведении работ по корам выветривания.

ПРОБЛЕМА ИЗУЧЕНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Выветривание — это изменение горных пород, происходящее в приповерхностной части земной коры под влиянием атмосферы, почвенных (метеорных) вод, просачивающихся через породы, колебаний температуры, а с начала развития наземной жизни также деятельности растений, живых организмов и продуктов разложения биомассы. Кора выветривания получила свое название по исключительному значению в ее формировании процессов выветривания. Последнее, как известно, проявляется повсеместно, действуя в той или иной степени на все горные породы, находящиеся у поверхности Земли. Выветривание предшествует возникновению подавляющего большинства осадочных образований.

Полезные ископаемые осадочного происхождения составляют наибольшую часть суммарного баланса минерального сырья. Основную роль среди них играют месторождения, непосредственно связанные с корами выветривания. Достаточно сказать, что к ним относятся крупнейшие накопления железных и марганцевых руд. В комплекс отложений, связанных с корами выветривания (формации кор выветривания), входят месторождения бокситов, силикатного никеля, редких земель, каолина, многие залежи фосфоритов, кварцевых песков, огнеупорных глин. С корами выветривания непосредственно связано образование россыпей золота, платины, алмазов, касситерита, монацита, титановых минералов, циркона и т. д.

Коры выветривания имеют значение не только как рудовещающие образования в экзогенных условиях и источники переносимого материала, обогащенного полезными компонентами (в растворенном состоянии или в форме твердых частиц), но и как один из важнейших поисковых критериев для ряда эндогенных полезных ископаемых. Прежде всего здесь необходимо указать значение кор выветривания в связи с поисками сульфидных месторождений. Возникающие при их выветривании железные и марганцевые шляпы, вторичные ореолы рассеяния и новые концентрации элементов являются важными поисковыми признаками при металлогенических исследованиях рудных районов. Одним из косвенных признаков, проявляющихся обычно весьма отчетливо в рельефе поверхности (геоморфологический критерий), могут служить так-

же коры выветривания, связанные с жильными образованиями, часто представляющими собой месторождения рудных и неметаллических полезных ископаемых. Жильные месторождения, как правило, бывают приурочены к зонам разрывных тектонических нарушений. Выветривание в этих зонах не только развивается на относительно большую глубину, но и лучше, чем в других местах, сохраняются возникающие при этом коры, обычно имеющие форму вытянутых тел, легко выделяемых при картировании.

Коры выветривания служат надежными документами, позволяющими судить о физико-географической обстановке прошлого. Они не только используются для установления климата, что, несомненно, очень важно, но и играют большую роль при расшифровке режима тектонических движений, особенностей палеорельефа и условий, в которых происходили изменения кор в процессе эрозии и захоронения. Коры также очень важны для стратиграфического расчленения и корреляции отложений, в том числе и докембрийских. Велико значение исследования кор выветривания и для решения различных вопросов гидрогеологии, инженерной геологии, сельского хозяйства. Так, степень изменения горных пород и глубину, на которую оно распространяется, необходимо учитывать не только при поисках строительных материалов минерального происхождения, но и при проектировании объектов строительства, особенно крупных гидротехнических сооружений. Характер изменения пород в результате выветривания существенно сказывается на химических свойствах почвенного покрова, что важно для развития сельского и лесного хозяйства. Интересным и важным в практическом отношении является изменение пористости горных пород при выветривании (поры выщелачивания). Известно, например, что карбонатные породы оказываются особенно хорошими коллекторами для нефти и газа в том случае, если слагают горизонт, располагающийся непосредственно под поверхностью денудации, где они подвергались активному действию гипергенных процессов.

Перечисленные моменты определяют естественный интерес к корам выветривания и разнообразие аспектов их изучения. Наибольшие успехи достигнуты, пожалуй, в вопросах познания минералогии и геохимии этих образований. Благодаря работам главным образом советских ученых: А. Е. Ферсмана [347—349], В. И. Вернадского [59], Б. Б. Полюнова [242], И. И. Гинзбурга [88—93 и др.], К. И. Лукашова [191], П. А. Замятченского [138], В. П. Петрова [231, 234], А. И. Перельмана [229], М. А. Глазовской [79], В. Н. Разумовой [256, 258], Н. А. Лисицыной [184] и других исследователей — установлены такие важные зависимости, как степень устойчивости к выветриванию различных минералов, стадийность их разложения и особенности получающихся продуктов на разных этапах развития процесса, роль климата, живого вещества в формировании кор выветривания и т. д.

Менее изучена геология кор выветривания. Интересны в этой области работы Н. М. Страхова [322, 324], Л. Б. Рухина [277], В. П. Казаринова [150], В. Н. Разумовой и Н. П. Хераскова [259], В. Н. Разумовой и А. Г. Черняховского [260], А. П. Сигова [288], Д. Г. Сапожникова [282] и многих других исследователей. За последние годы накоплен интересный материал по региональному изучению кор выветривания. Для отдельных территорий составлены специальные карты и схемы, на которых стратиграфия кор выветривания, а также связь их с тектоникой и геоморфологией получили более полное отражение. Из таких материалов надо отметить результаты работ по корам выветривания Урала, Сибирской и Русской платформ. Однако многие особенности геологии кор выветривания остаются еще далеко не ясными, и большинство регионов не имеет таких карт.

Недостаточно изучена также и металлогения (минерагеня) кор выветривания. Наиболее важные работы этого направления касаются генезиса и условий распространения железных и марганцевых руд [27, 319], комплекса сульфидных руд [301—303], бокситов [9, 22, 47, 49, 104, 112, 113], никеля [93], каолинов [88, 89, 93, 231, 281], кварцевых песков, россыпей различных минералов [28 и др.]. Надо также отметить интересные работы, касающиеся образования ореолов рассеяния рудных элементов, связанных с явлениями выветривания [98, 127, 251]. Несмотря, однако, на наличие указанных работ, принадлежащих в ряде случаев крупнейшим исследователям, такие важные вопросы, как условия образования и закономерности пространственного размещения месторождений различных полезных ископаемых, связанных с корами выветривания, изучены недостаточно полно.

Детально исследуются почвы, являющиеся верхним горизонтом кор выветривания. Описанию их в различных аспектах посвящена огромная советская и зарубежная литература. К работам, наиболее тесно связанным с проблемой изменения при почвообразовании естественных минералов и горных пород, относятся классические труды К. Д. Глинки [107], В. Р. Вильямса [63, 64], А. А. Роде [264], указанный выше труд Б. Б. Полынова [242]. Из работ последних лет большой интерес для познания характера изменения горных пород в почвах представляют работы М. А. Глазовской [79, 106], В. В. Пономаревой [244—247] и др.

Значительный размах и достаточно широкое освещение в печати, главным образом зарубежной, получили экспериментальные исследования, направленные на моделирование основных гипергенных процессов. Из работ этого направления, опубликованных в советской литературе, следует указать статьи И. Н. Антипова-Каратаева и И. Г. Цюрупы [8], Е. П. Левандо и др. [149, 383], Ю. Ю. Бугельского и Л. С. Цимлянкой [43], Е. И. Соколовой [308]. В иностранной литературе интересные данные экспериментальных исследований имеются у Корренса [406, 407], Шатонье [404], Вайяра, Оберлена, Чубара [452] и других авторов. Наибо-

лее существенные результаты по моделированию процессов гумидного выветривания приводятся в работах Ж. Педро [436, 438]. Ему удалось получить в лаборатории гиббсит и глинистые минералы и проследить динамику перераспределения главнейших породообразующих элементов в условиях, близких к природным. Работы Ж. Педро в 1971 г. переведены на русский язык.

Таким образом, в изучении отдельных вопросов рассматриваемой проблемы за последние десятилетия сделано достаточно много, но в целом она изучена слабо и ряд ее разделов остается непознанным, что отрицательно сказывается на решении главным образом таких задач, как прогнозирование, методика и выбор направлений поисков месторождений полезных ископаемых.

Тем не менее имеющиеся в настоящее время общие представления о процессах выветривания, опыт исследований и накопившийся фактический материал позволяют целенаправленно развивать начатые работы и перейти к обобщению данных прежде всего геологического, в том числе металлогенического, направления.

Центральной задачей дальнейших работ по рассматриваемой проблеме должно явиться изучение условий развития кор выветривания и особенностей пространственного размещения связанных с ними месторождений полезных ископаемых.

Отсюда вытекает необходимость решения ряда задач, а именно:

1. Выявление эпох регионального формирования мощных кор выветривания, зависимость этого явления от тектонических движений различного порядка, вулканизма, климатической зональности и других факторов, определяющих и определивших в прошлом характер физико-географической обстановки больших территорий.

2. Установление связи возникновения различных морфологических и геохимических типов и минеральных видов кор с составом и строением толщ исходных пород, деталями рельефа, климата, с гидрогеологическими условиями, характером растительности и прочими локальными причинами, определяющими своеобразие изменения горных пород, выноса химических элементов и образования новых минералов на отдельных участках развития выветривания.

3. Продолжение работ по всестороннему изучению геохимии и минералогии продуктов различных кор выветривания, в частности получение определенных физико-химических констант развития гипергенных процессов в разнообразных условиях, выявление подвижности отдельных элементов и типов их ассоциаций. Необходимо уточнение существующих представлений об особенностях геохимических процессов, протекающих на разных уровнях профиля кор выветривания, и новообразований, возникающих при опускании кор в более глубокие горизонты зоны гипергенеза и в зону метаморфизма. Весьма важно исследование эпигенетических, в том числе экзодиагенетических, изменений продуктов выветривания и,

что очень существенно, разработка методов определения возраста кор.

Большое значение приобретает внедрение математических методов исследования. Огромное количество аналитических данных, получаемых при изучении кор выветривания, вызывает необходимость применять для их обработки теорию вероятности и методы математической статистики. Перспективно использование в связи с этим электронно-вычислительной техники.

В решении минералого-геохимических задач большая роль должна принадлежать лабораторным экспериментальным работам.

4. Важным следует считать получение данных об эволюции в ходе геологической истории условий выветривания и об особенностях состава кор различных ее периодов.

5. Задача первостепенного значения — развитие региональных работ по изучению кор выветривания, в процессе выполнения которых наиболее полно могут быть решены вопросы стратиграфии, геологии и экзогенной минерации.

6. Одной из наиболее актуальных задач следует считать разработку методов полевых и лабораторных исследований кор выветривания и принципов прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых, так или иначе связанных с корами.

7. Важной задачей является установление условий использования данных изучения кор выветривания для тектонических схем, корреляции стратиграфических разрезов и палеогеографических построений.

Сказанное позволяет рассматривать изучение кор выветривания как одну из первостепенных задач геологии, важную в практическом и научном отношении.

В настоящей работе, как уже отмечалось, основное внимание уделяется тем вопросам, которые в большей степени связаны с региональным исследованием кор выветривания.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ХАРАКТЕРИСТИКОЙ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Разнообразный характер выветривания и различие интересов, проявляемых при его изучении представителями разных научных направлений, обусловили неодинаковое толкование многих применяемых в этих случаях терминов. Дискуссионным до последнего времени является и само понятие «кора выветривания». Определение этого термина имеется в трудах В. И. Вернадского [57, 60], А. Е. Ферсмана [350], Б. Б. Полынова [242], И. И. Гинзбурга [97, 100, 251], В. П. Казаринова [150], К. И. Лукашова [191], И. П. Герасимова [80], А. И. Перельмана [229], В. П. Петрова [234], Л. Б. Рухина [277], Н. М. Страхова [318, 320, 322], Е. В. Шанцера [377] и других исследователей. Одни из них рассматривают кору выветривания в очень широком смысле, относя к ней все образования верхней оболочки литосферы, включая осадочные породы. Такой точки зрения придерживается, в частности, К. И. Лукашов; Б. Б. Полынов относил к коре выветривания элювиальные образования и континентальные обломочные породы времени выветривания.

В. П. Петров, Н. М. Страхов, А. И. Перельман ограничивают объем понятия коры выветривания горизонтом собственно элювия, непосредственно связанного с почвенным покровом. И. И. Гинзбург [93] в кору выветривания включал не только элювий, но и частично делювиальные и пролювиальные накопления. Ограничения понятия коры выветривания одним элювием придерживаются обычно геологи и минералоги, изучающие выветривание кристаллических пород. На расширении этого понятия, вплоть до осадочных образований, настаивают главным образом литологи, географы и почвоведы.

Различные взгляды существуют также на процессы выветривания, на роль в их развитии различных физико-географических, биогенных факторов и т. д.

В рассматриваемой ниже схеме развития процессов, связанных с формированием кор выветривания, отражены взгляды и принята основная терминология советских исследователей, являющихся основоположниками учения о гипергенных процессах и авторами многочисленных работ в этой области. Однако некоторые понятия, введенные этими исследователями и вошедшие в литературу много

лет назад, нами расширены на основании новых данных и конкретизированы в соответствии с современными задачами, решающимися при изучении кор выветривания.

Согласно предлагаемой схеме, в качестве основных принимаются следующие понятия: зона гипергенеза, подзона начального гипергенеза, подзона выветривания, кора выветривания, формация коры выветривания. Ниже им дается очень краткое обоснование; несколько подробнее рассматриваются вопросы, касающиеся только коры выветривания и являющиеся основной темой настоящей работы. При этом разбираются явления исключительно континентального гипергенеза; процессы изменения пород, происходящие на дне водоемов (гальмиролиз), не затрагиваются.

ЗОНА ГИПЕРГЕНЕЗА

В соответствии с установившимся в последние годы представлением, мы рассматриваем зону гипергенеза как верхнюю часть земной коры, в пределах которой протекают различные процессы, обязанные взаимодействию литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы, вызывающие изменение и разрушение горных пород, образовавшихся в иных условиях, и возникновение новых минералов и пород, устойчивых в верхней оболочке Земли и на ее поверхности.

Для зоны гипергенеза характерны относительно низкие температура и давление. Ей противопоставляется расположенная ниже область метаморфизма, где геохимические процессы протекают при высоких значениях температуры и давления.

Термин «гипергенез», как известно, был введен А. Е. Ферсманом в 1922 г. Тогда он писал, что к процессам гипергенеза относится «весь комплекс химических и геохимических явлений, которые протекают на границе между атмосферой и твердой земной оболочкой» [347, с. 33]. Затем А. Е. Ферсман значительно расширил это понятие и в 1934 г. указывал, что под геохимией гипергенных поверхностных процессов он понимает совокупность химических превращений и перемещений вещества, происходящих в наружных частях Земли, включая катагенез, выветривание и осадкообразование. Последнее определение этого понятия, данное редакцией «Избранных трудов» А. Е. Ферсмана на основе его высказываний, относящихся, по-видимому, к наиболее позднему периоду деятельности ученого, звучит следующим образом: «Гипергенез — поверхностные изменения пород и минералов в коре выветривания и биосфере» [349, с. 749]. Точных границ области развития гипергенных процессов А. Е. Ферсманом дано не было.

По В. И. Вернадскому [58], температурный предел зоны гипергенеза не превышает 70° С.

Происходящие в этой зоне явления Н. Б. Вассоевич [52] рассматривает как регрессивный литогенез, включающий: 1) изменение ранее существовавших горных пород; 2) возникновение особых

типов пород (миновавших стадию седиментогенеза) и 3) образование исходного материала для осадков, превращающихся затем, в прогрессивную стадию литогенеза, в плотные породы.

В зависимости от условий изменения пород зона гипергенеза может быть разделена на несколько частей — подзон. Так, И. В. Мушкетов [212], в соответствии с данными Ван-Хайза [448], указывает, что над зоной высоких температур и высоких давлений, где развиты метаморфические породы, находится зона катаморфизма (по принятой нами терминологии — зона гипергенеза); в ней давление и температура относительно низкие. Эта зона, по мнению Ван-Хайза и И. В. Мушкетова, делится на два пояса: 1) нижний пояс цементации, где грунтовые воды целиком заполняют поры и пустоты в горных породах; здесь преобладают явления гидратации, восстановления и цементации; 2) верхний пояс выветривания, распространяющийся на глубину до 0,5 км (обычно меньше). В пределах верхнего пояса вода не сильно проникает в породы. Здесь преобладают реакции окисления, а также изменения пород, протекающие при участии организмов и продуктов их жизнедеятельности.

Н. Б. Вассоевич в цитируемой выше работе выделяет три этапа гипергенеза. В начальный этап, соответствующий наиболее глубокой части рассматриваемой зоны и названный им скрытым гипергенезом, воздействие поверхностных факторов сказывается через грунтовые воды. Процессы этого этапа развиваются в анаэробных условиях. Второй этап наступает после того, как породы оказываются в аэробных условиях. Третий этап характеризуется выхождением пород на дневную поверхность, где происходит их выветривание, заключающееся как в химическом разложении, так и в физическом разрушении. А. И. Перельман [229] принимает деление зоны гипергенеза на две части; наиболее глубокую из них, где изменение горных пород происходит под влиянием грунтовых вод, он рассматривает как область катагенеза.

Полностью соглашаясь с принципом деления зоны гипергенеза на две части, мы считаем, однако, что принятое А. И. Перельманом название нижней из них не вполне удачно. Катагенезом в современной литературе именуется комплекс процессов литогенеза, развивающихся в осадке по мере перехода его на большую глубину после стадии диагенеза [323].

Правда, А. Е. Ферсман — автор данного термина — различал трансгрессивный катагенез, связанный с опусканием земной коры, и регрессивный катагенез, отвечающий ее поднятиям [349, с. 46]. Однако геохимическая основа такого деления не была рассмотрена автором, не принята и не развита она также в последующих работах советских геологов.

При существующей неопределенности понятия «катагенез» во избежание возможной путаницы при употреблении этого термина нам представляется целесообразным отказаться от него. Нижнюю часть зоны гипергенеза предлагаем назвать подзоной начального

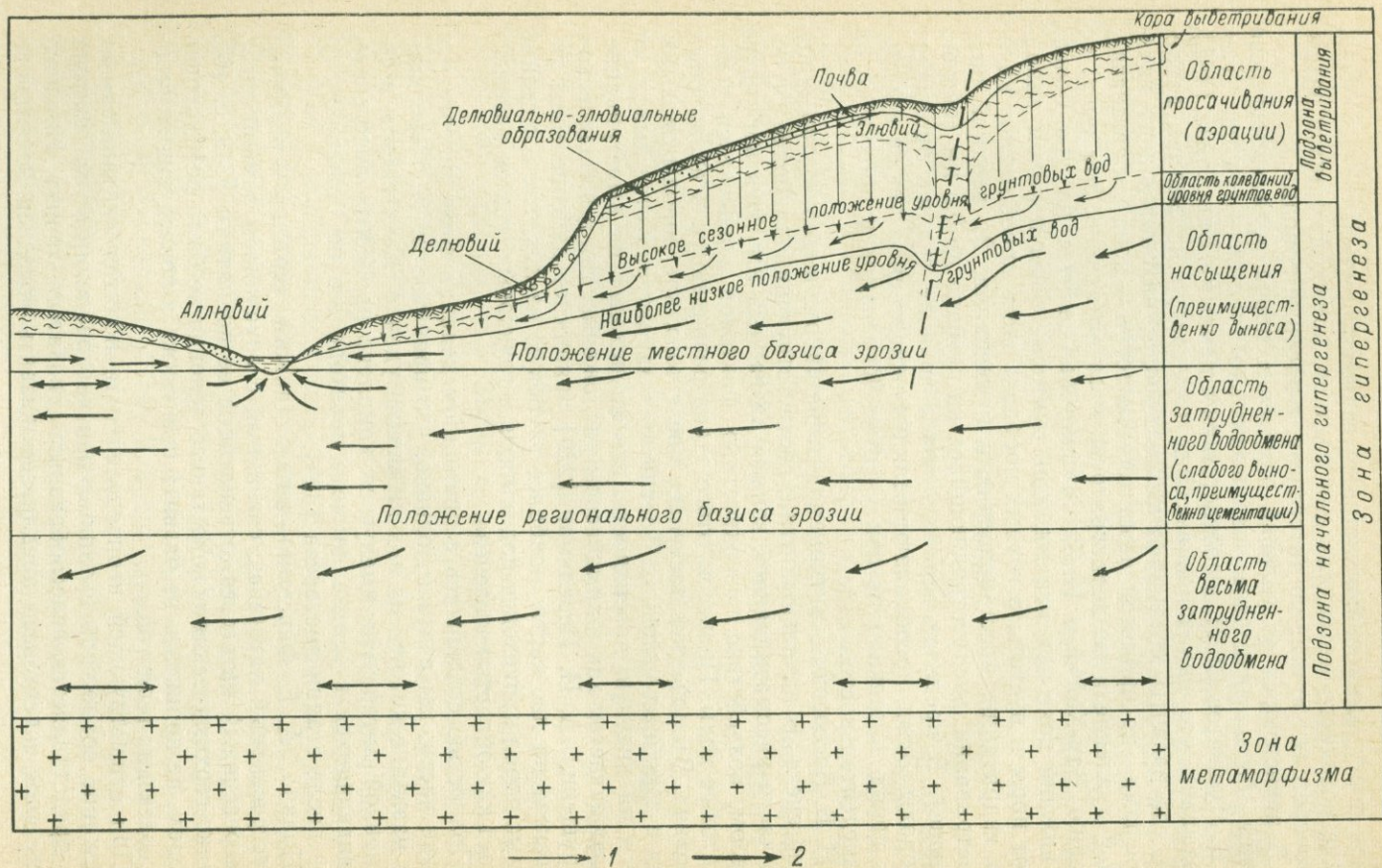


Рис. 1. Схема строения зоны гипергенеза и положение основных гидрогеологических горизонтов:
 1 — основное направление движения поверхностных вод; 2 — основное направление движения грунтовых вод

гипергенеза. Это вполне соответствует особенностям ее термодинамических условий и отражает характер развивающихся в ней явлений.

Имеются и другие высказывания по вопросу разделения зоны гипергенеза, но во всех случаях одним из главных аргументов обоснования границ отдельных горизонтов (подзон), различающихся условиями развития геохимических процессов, является гидродинамический режим, в частности положение уровня грунтовых вод. Помимо указанных выше исследователей, решающую роль уровня грунтовых вод как границы областей с различными условиями гипергенного изменения пород отмечают в своих работах А. А. Сауков [283], С. С. Смирнов [303], В. И. Смирнов [298], В. В. Добровольский [128], Финч [410], Ван-Хайз [448], Фокс [411], Лугнен и Бейлис [428] и другие ученые.

Таким образом, мы придерживаемся схемы деления зоны гипергенеза на две части: подзону выветривания, лежащую выше уровня грунтовых вод, и подзону начального гипергенеза, располагающуюся ниже этого уровня. Последняя с глубиной переходит в область развития пород, не затронутых гипергенными процессами и относящихся к зоне метаморфизма (рис. 1).

Необходимо хотя бы в общих чертах охарактеризовать режим подземных вод, имеющих исключительное значение для процессов зоны гипергенеза.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЗОНЫ ГИПЕРГЕНЕЗА

В вертикальном разрезе зоны гипергенеза выделяются три основные гидродинамические области, или зоны: свободного, затрудненного и весьма затрудненного водообмена. Область свободного водообмена уровнем грунтовых вод делится на область просачивания (аэрации), расположенную у поверхности Земли, и область насыщения (истечения), лежащую ниже уровня грунтовых вод. Основанием зоны свободного водообмена служит горизонт наиболее глубоко врезанных местных базисов эрозии.

Область просачивания отличается существенным своеобразием гидродинамических условий. В ней большую роль играют пленочные и капиллярные воды, присутствующие в порах и трещинках пород. Значительная часть пустот занята парами воды и воздухом. Только во время обильного выпадения атмосферных осадков и таяния снега эти пустоты наполняются гравитационными водами.

Мощность области просачивания в зависимости от типа ландшафта меняется в широких пределах. Во влажном климате на низменных площадях она составляет всего 0—2 м, в засушливом климате даже при равнинном рельефе увеличивается на междуречьях до 30—40 м. На возвышенных плато, нагорьях и в горных районах мощность этой области достигает нескольких сот метров.

В том случае, когда область просачивания сложена рыхлыми породами, в ней намечаются три горизонта: 1) горизонт почвенной

влаги, полностью воспринимающий атмосферные осадки и солнечное тепло и характеризующийся резко переменным водообменом с атмосферой путем испарения и транспирации; 2) промежуточный горизонт, содержащий преимущественно пленочную и капиллярную влагу. Периодически через него проходят токи гравитационных, инфильтрационных и инфлюкционных вод; на водоупорных слоях образуется верховодка; 3) горизонт капиллярной каймы, располагающийся непосредственно над зеркалом грунтовых вод. Высота его в особо благоприятных условиях достигает 2,0—2,5 м.

Воды области просачивания образуют взаимосвязанную систему и находятся в непрерывном движении. Во влажные периоды происходит преимущественно нисходящее движение вод, в засушливые влага устремляется ближе к дневной поверхности, где испаряется. На движение вод здесь большое влияние оказывают сезонные изменения температуры пород, колебания атмосферного давления, движения паров воды и воздуха.

Область насыщения охватывает верхнюю часть толщи полностью обводненных пород; она относится к подзоне начального гипергенеза. Воды этой области имеют сравнительно слабую подвижность, направленную в сторону пунктов истечения. В противоположность области просачивания, где доминирующим являлось вертикальное движение вод, в зоне истечения воды медленно перемещаются в направлении, близком к горизонтальному. Для зоны — области свободного водообмена, особенно для ее верхней части (просачивания), характерна четко выраженная зависимость питания и стока от климатического режима района.

Область затрудненного водообмена, по Б. Л. Личкову и Ф. А. Макаренко, располагается между уровнями местных и региональных базисов эрозии. К последним относятся долины магистральных рек, внутренние моря, крупные озера. Влияние климата на режим и состав вод этой области сказывается в меньшей степени, чем на режим и состав вод области свободного водообмена.

Область весьма затрудненного водообмена располагается ниже уровня региональных базисов эрозии. Движение вод в ней происходит очень медленно, главным образом под влиянием региональных тектонических процессов.

Указанная смена гидродинамических режимов наиболее отчетливо проявляется на платформах. В складчатых регионах принципиально близкие гидрогеологические условия характерны лишь для межгорных, отчасти внутригорных впадин. В пределах поднятых участков вследствие большой расчлененности рельефа и наличия, как правило, зон разломов резко увеличивается значение вод области свободного водообмена, мощность которых здесь достигает, как уже отмечалось, нескольких сот метров [135, 153].

Во взаимосвязи с динамикой вод отдельных гидрогеологических областей, но подчиняясь ей полностью не во всех случаях, находится химический состав подземных вод. Общая закономерность его изменения выражается в постепенном увеличении с глубиной степени

минерализации и соответственно в смене пресных вод солеными. Принято выделять три основные гидрохимические зоны (сверху вниз): слабоминерализованных вод — пресных, более минерализованных вод — соленых и высокоминерализованных вод — рассолов (рис. 2).

Верхний горизонт первой из названных зон (на рис. 2 он не показан) соответствует области просачивания. Воды этого гори-

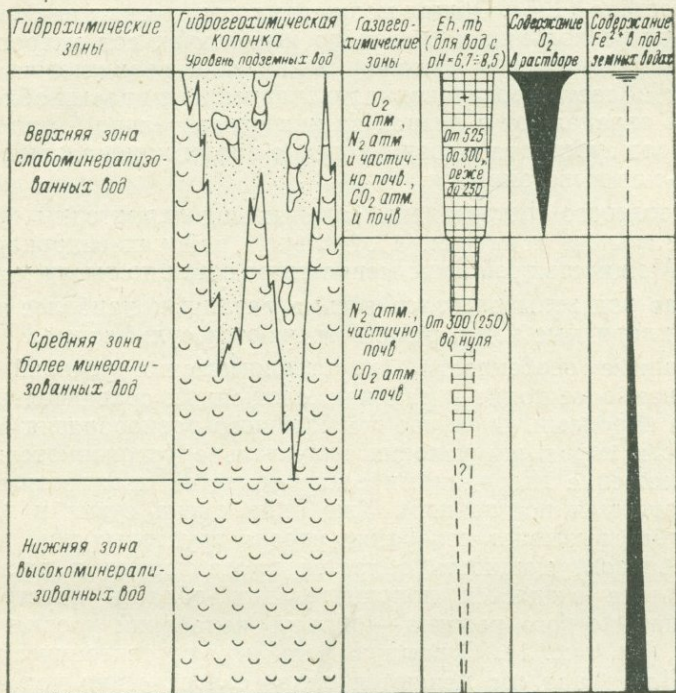


Рис. 2. Схема гидрохимической зональности в толще без реагирующего органического вещества (по А. И. Германову и др.)

зонта богаты кислородом, углекислотой, азотом. Содержание их благодаря хорошей аэрации близко к насыщению при данных физико-географических условиях. В этих водах содержатся также органические кислоты и обычно некоторые количества Cl и SO₃. Минерализация вод области просачивания сильно варьирует в зависимости от климата и состава пород, существенно меняется она и в вертикальном разрезе. Для полосы гумидного климата характерна слабая минерализация, в аридных условиях в связи с испарительной концентрацией она резко возрастает за счет углекислых, реже сульфатных солей кальция и т. д.

Для следующего по глубине горизонта пресных вод, соответствующего верхней части подзоны начального гипергенеза, наиболее типичны гидрокарбонатные кальциевые воды, содержащие углекислоту, азот, кислород. Количество последнего книзу быстро убывает. Органическое вещество (залежи торфа, угля, рассеянные растительные остатки) также снижает содержание кислорода, создавая на отдельных участках восстановительные условия. В толщах засоленных пород, главным образом в районах засушливого климата, развиты сульфатные и хлоридные воды различного катионного состава [135]. Общая мощность зоны пресных вод варьирует обычно от нескольких десятков до нескольких сот метров. Более активный водообмен и высокая химическая реакционная способность вод области просачивания по сравнению с водами области насыщения определяют в первой из них относительно быстрое изменение пород субстрата и возникновение новых минеральных образований — кор выветривания.

Для солевого состава зоны соленых вод характерны сульфаты кальция, магния и натрия, в отдельных районах гидрокарбонаты натрия. Мощность этой зоны меняется от сотен до тысяч метров.

Состав вод зоны рассолов весьма различен; наиболее типичны для нее хлоридные воды, реже встречаются сульфатные.

Указанные особенности гидрогеологических условий проявляются наиболее полно в районах, сложенных сравнительно однородными породами. В случае же большого разнообразия водопроницаемости пород эти условия значительно усложняются. Кроме того, положение гидродинамических областей и гидрохимических зон не остается постоянным. Уже одна смена сухих и влажных времен года вызывает колебания уровня грунтовых вод, изменяя, таким образом, мощность областей просачивания и насыщения. В результате создается дополнительная область неустойчивого гидродинамического режима — область колебаний уровня грунтовых вод (см. рис. 1). Огромную роль играют тектонические движения. Благодаря им меняются гидрогеологические условия как сравнительно небольших участков, так и целых регионов, что отражается на развитии гипергенных процессов, в частности на формировании кор выветривания. Вернемся к рассмотрению схемы деления зоны гипергенеза.

ПОДЗОНА НАЧАЛЬНОГО ГИПЕРГЕНЕЗА

К этой подзоне нами относится наиболее глубокая часть зоны развития гипергенных процессов, располагающаяся ниже уровня грунтовых вод. Главным «деятелем» начального гипергенеза является вода, содержащая кислород, угольную кислоту, отчасти серную кислоту. Начальный гипергенез, следовательно, отвечает тому комплексу явлений, который характерен для более глубокого пояса зоны катаморфизма Ван-Хайза [349, с. 38].

И. И. Гинзбург ввел понятие «глубинное, или вековое выветривание», которое также является близким к начальному гипергенезу. В работе этого автора [90, с. 41] мы читаем, что «в основном глубинное выветривание связано с грунтовыми водами, их передвижением, уровнем стояния, составом и пр.». Далее указывается, что наиболее понятен процесс векового выветривания, «развивающийся среди тектонически разрушенных известняков; очень характерно такое выветривание для сульфидных жил и пород, предварительно раздробленных тектоническими движениями».

Ф. В. Чухров [375] глубинным выветриванием называет процессы изменения горных пород, происходящие ниже уровня грунтовых вод. При этом он проводит аналогию между областью глубинного выветривания И. И. Гинзбурга, поясом цементации Мушкетова — Ван-Хайза и зоной катагенеза А. Е. Ферсмана.

А. И. Перельман [229] именуется катагенезом изменение горных пород под влиянием подземных вод. Он отмечает, что в подзоне катагенеза процессы развиваются в условиях двухфазной системы (жидкая и твердая).

Таким образом, приведенные высказывания различных авторов вполне согласуются с принятым нами принципом деления зоны гипергенеза, подтверждая возможность рассматривать уровень грунтовых вод как верхнюю границу подзоны начального гипергенеза.

Для подзоны начального гипергенеза типично медленное развитие геохимических процессов и слабое по сравнению с подзоной выветривания изменение исходных пород, включая и алюмосиликатные. В отдельных случаях они все же превращаются в глинистые продукты, вплоть до каолина. Относительно большой скорости развития этих процессов достигает на склонах возвышенностей и вблизи речных долин, где имеет место выклинивание водоносных горизонтов и разгрузка грунтовых вод (рис. 3). К долинам рек в районах с контрастным рельефом нередко приурочены зоны «желоба», в которых воды реки и поток подземных вод аллювиальных отложений долин и даже подстилающих аллювий трещиноватых пород основания образуют единое целое — создается «подруслый поток». Здесь процессы разложения пород и вынос вещества также достигают повышенной активности. К этому следует добавить, что большая роль в изменении пород вблизи речных долин принадлежит так называемой сифонной циркуляции грунтовых вод. Это явление заключается в движении последних нормально к оси реки ниже ее русла, где струи грунтовых вод загигают вверх, разгружаясь в дне русла (см. рис. 1). Уровень, ниже которого поток подземных вод уже не обнаруживает движения к дну русла реки, называется малым (поперечным) базисом стока. Он лежит ниже базиса эрозии и, по-видимому, ограничивает глубину зоны возможного изменения пород прирусловой полосы; мощность этой зоны зависит от многих причин, но при благоприятных условиях климата и рельефа может достигать нескольких десят-

ков метров [192, 193]. Существенную роль играют тектонические зоны, часто являющиеся естественными каналами для подземных вод. По ним на относительно больших глубинах мигрируют значительные массы вод, способствуя интенсивному изменению вмещающих пород [153].

Положение различных горизонтов латеритной коры выветривания, образовавшейся у крутого уступа, создающего благоприятные условия для интенсивной циркуляции грунтовых вод на значительной глубине от дневной поверхности, видно на рис. 3 —

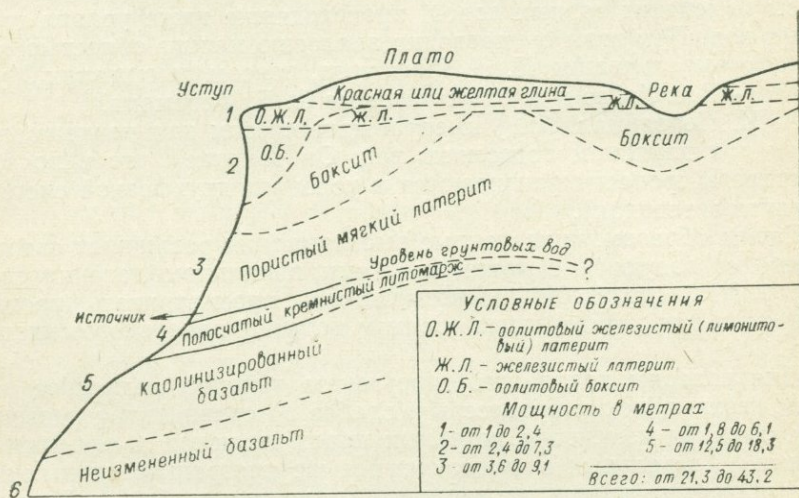


Рис. 3. Схематический разрез типичного латеритного профиля (по К. С. Фоксу)

схеме, заимствованной из работы К. С. Фокса о латеритах Индии [411]. Фокс решающую роль в формировании данного профиля выветривания отводит колебаниям уровня грунтовых вод, зависящим от переменного в разные сезоны количества выпадающих осадков. На приведенном рисунке показано положение этого уровня, характерное для начала сухого сезона. При изучении латеритных кор выветривания Гвинеи установлено, что наиболее низкое положение этого уровня почти совпадает с верхней границей неизменных пород субстрата (по данным В. И. Мамедова). Возвращаясь снова к схеме Фокса, следует отметить приуроченность горизонта кремнистого литомаржа к самой верхней части водоносного горизонта (точнее, к основанию зоны колебания уровня грунтовых вод). Аналогичное положение в профиле выветривания занимают нередко горизонты ожелезнения, карбонатизации и т. д.

Интересно влияние различных гидродинамических и гидрохимических условий на руды сульфидных месторождений. С. С. Смирнов [303] по этому поводу пишет, что в области просачивания при-

сутствуют окисленные руды, в области застойных вод и затрудненного обмена¹ — сульфидные руды, в области насыщения могут существовать окисленные и сульфидные руды, обычно с резким преобладанием последних. Таким образом, область насыщения (верхняя часть подзоны начального гипергенеза) по характеру и активности гипергенных процессов является как бы промежуточной, переходной к подзоне выветривания, отличаясь вместе с тем от последней весьма существенно.

В условиях развития восходящих движений геологических структур явления начального гипергенеза играют как бы подготовительную роль, способствующую более энергичному действию на породы факторов выветривания.

ПОДЗОНА ВЫВЕТРИВАНИЯ

Подзоной выветривания является верхняя часть зоны гипергенеза, расположенная выше уровня грунтовых вод. Следовательно, она совпадает с областью просачивания — аэрации. Изменение горных пород и возникновение новых минералов в этой подзоне происходит в условиях главным образом трехфазной системы (газообразная, жидкая, твердая).

Здесь интенсивно развивается комплекс явлений, относящихся собственно к выветриванию, заключающихся в механическом разрушении и химическом разложении пород субстрата и приводящих к возникновению новых минеральных ассоциаций, устойчивых в данной физико-химической обстановке земной поверхности.

Б. Б. Полюнов [242] представлял себе область выветривания как верхнюю часть литосферы, которая в отдельных частях и в отдельные геологические моменты может слагаться из различного материала как изверженных и метаморфических массивных, так и рыхлых осадочных пород, но в пределах которой процессы направлены в сторону разрушения и раздробления пород и образования коры выветривания. Точного определения границы этой области Б. Б. Полюновым дано не было.

Более определено в этом отношении высказываются В. Н. Разумова и Н. П. Херасков [259], а также А. И. Перельман [229], проводящие границу области выветривания на уровне зеркала грунтовых вод.

На определяющую роль поверхности грунтовых вод при распространении на глубину месторождения выветривания руд марганца указывает А. Г. Бетехтин [27, с. 27]. В. В. Добровольский [128], базируясь на положении уровня грунтовых вод, устанавливает границу зоны окисления сульфидных месторождений (рис. 4).

¹ С. С. Смирнов, пользуясь схемой Финча [410], объединяет горизонты затрудненного и весьма затрудненного водообмена в зону застойных вод.

Основными химическими агентами изменения пород подзоны выветривания являются: кислород, углекислый газ, вода атмосферных осадков. Воды этой подзоны нередко бывают обогащены ионами сильных кислот — серной, отчасти азотной. Начиная со времени возникновения наземной растительности в выветривании все возрастающее значение приобретали органические кислоты и сами растения. Определенную роль в разложении алюмосилика-

тов и ряда других минералов играют также микроорганизмы. Большое участие в выветривании принимают физические факторы, приводящие к раздроблению горных пород. Подробнее об этом будет сказано ниже.

Мощность подзоны выветривания наиболее часто ограничивается единицами и десятками метров, но на высоких плато и в горных районах, особенно с сухим климатом, может достигать нескольких сот метров. Мощность ее со временем меняется под влиянием колебательных движений, эрозии, а также варьирует в течение года.

Характер и интенсивность действия процессов выветривания горных пород в

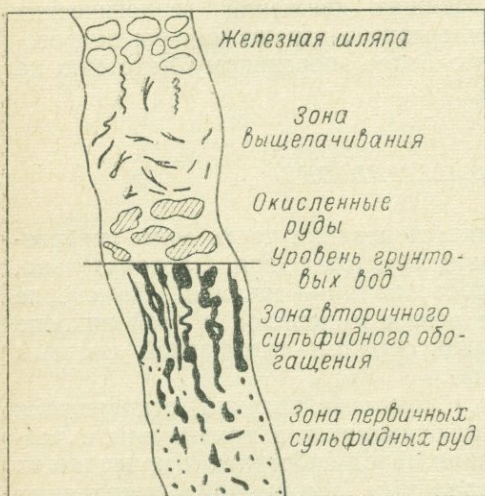


Рис. 4. Схема строения коры выветривания сульфидных месторождений (по В. В. Добровольскому)

большей степени, чем характер изменения пород в подзоне начального гипергенеза, зависят от климата. В истории Земли эти процессы существенно эволюционируют, что связано не только со сдвигом климатической зональности, но и с общими причинами, вызывающими изменение состава атмосферы и развитие жизни, обуславливающими различное распределение водных бассейнов и т. д.

В области сезонного колебания уровня грунтовых вод происходит чередование периодов аэрации с периодами заполнения пор в породах водами. Как мы уже отмечали, это приводит к изменению условий развития химических реакций и меняет активность миграции многих элементов, в частности кремния, алюминия и железа.

И. П. Герасимов [80], рассматривая генезис латеритов, указывает, что колебания уровня грунтовых вод оказывают большое влияние на состояние коллоидов; многие из них при наступлении засухи теряют подвижность и прочно закрепляются в породах.



Рис. 5. Схематическая карта изопакит коры выветривания Украинского щита, составленная по материалам Ю. Н. Даниленко, Р. И. Давгана, А. У. Литвиненко, Э. В. Мельничук, П. А. Швачко, М. Д. Эльянова

Таким образом, по его мнению, возникают железистые конкреции, рассеянные на отдельных уровнях кор выветривания, или образуются горизонты плотных ожелезненных пород.

В период высокого положения уровня грунтовых вод возрастает вынос вещества, причем вещество выносится не только в виде раствора, но нередко и в форме твердых частиц — механическая суффозия. Влияние последней на структуру и состав пород нами наблюдалось в песчаных отложениях, слагающих борта речных долин средних широт европейской части СССР [364].

Область кратковременных колебаний уровня грунтовых вод мы относим к подзоне выветривания (см. рис. 1).

Необходимо добавить, что в нижнюю часть подзоны выветривания вещество поступает как из более высоких горизонтов этой подзоны с гравитационными водами, так частично и из подзоны начального гипергенеза в результате действия капиллярных сил. Существенное значение это имеет в аридных условиях, на относительно низких участках местности, где капиллярное поднятие грунтовых вод и их испарение способствуют цементации пород в нижнем горизонте подзоны выветривания.

КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ

К коре выветривания мы относим комплекс пород (элювиальных образований), возникших в приповерхностной части земной коры в результате преобразования в континентальных условиях магматических, метаморфических и осадочных пород под воздействием физических и химических (включая и биогенные) процессов, связанных с выветриванием. Для кор выветривания характерна зависимость их развития от физико-химических факторов, действующих у поверхности Земли, и переход с глубиной в малоизмененные, а затем и свежие исходные породы.

Кора выветривания имеет обычно переменную мощность и нечеткую нижнюю границу; она или распространяется на всю глубину подзоны выветривания, или в виде неправильного горизонта занимает только ее верхнюю часть. Это относится к так называемой площадной коре выветривания, являющейся основным и наиболее важным морфологическим типом таких образований.

По зонам контактов и участкам повышенной трещиноватости сильно измененные породы прослеживаются нередко на большую глубину, иногда ниже подзоны выветривания, создавая как бы «карманы» площадной коры. При денудации они сравнительно хорошо сохраняются; их можно наблюдать на поверхности в виде неправильных полос, вытянутых согласно основным тектоническим направлениям района. Такие образования получили название «линейные коры выветривания».

Коры подобного морфологического типа могут развиваться и непосредственно с поверхности; это наиболее типично для кру-

топадающих комплексов, сложенных породами резко отличающейся устойчивости по отношению к выветриванию.

Характер современного распространения площадной коры выветривания Украинского щита, по данным А. У. Литвиненко и М. Д. Эльянова [187], виден из рис. 5. Возраст коры этого региона определяется как мезозойский. Мощность ее варьирует в широких пределах. На 70% площади щита максимальная установленная мощность площадной коры выветривания не превышает 10 м. Скопления элювия, достигающие на отдельных участках мощности

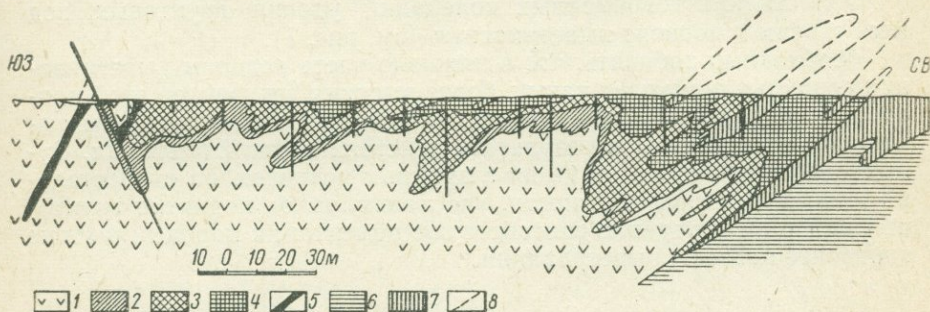


Рис. 6. Разрез коры выветривания гипербазитов Кемпирсайского массива на контакте их с габброидами (по В. Н. Разумовой):

1 — выщелоченные серпентиниты; 2 — слабожелезистые серпентиниты; 3 — трониты; 4 — охры; 5 — габбро-диориты; 6 — габбро-амфиболиты; 7 — монтмориллонитизированные и каолинизированные габбро-амфиболиты; 8 — сброс

30 м, наблюдаются на 25% поверхности щита, до 50 м — на площадях, суммарно занимающих около 4%, а более 50 м — на участках, составляющих менее 1% региона. Мощность линейной коры выветривания местами превышает 200 м.

Достаточно характерный для магматических и метаморфических пород разрез коры выветривания, установленный В. Н. Разумовой [257] при изучении результатов выветривания гипербазитов Южного Урала, приводится на рис. 6.

Верхняя часть коры выветривания, в формировании которой особенно большую роль играет растительность, называется почвой. Этот горизонт имеет ряд специфических особенностей, и, несмотря на то что он входит в состав коры выветривания, мы его ниже специально не рассматриваем. Имеется большая литература, посвященная описанию почв.

Термин «кора выветривания» был введен В. И. Вернадским [58], но содержание, придававшееся им этому термину, было более широким. Корой или областью выветривания В. И. Вернадский называл всю верхнюю термодинамическую оболочку литосферы с гидросферой и тропосферой, включая и часть подзоны начального гипергенеза. За нижнюю границу коры выветривания в то время он принимал кислородную поверхность, разделяющую зоны, где имеется и где отсутствует свободный кислород. Глубина нахо-

ждения кислородной поверхности, по данным В. И. Вернадского, определяется пределами 0,5—0,8 км на суше, 4,0—4,5 км в гидросфере.

В своей последней работе, опубликованной в 1965 г. [60], В. И. Вернадский писал, что к коре выветривания следует отнести «верхнюю покрывку суши», в которую входят почвы, подпочвы, живое вещество и верхние части подстилающих пород. Эта область, по словам автора, механически и физически резко ограничивается от лежащих ниже ее свежих, нетронутых горных пород и областей с рыхлой или легко проницаемой для воды и газа структурой. Далее указывалось, что в коре выветривания главные минералы магматических горных пород переходят в новые образования, в частности в каолиновые глины.

При геологических исследованиях обычно фиксируется как кора выветривания и подвергается детальному изучению только тот комплекс сильно измененных пород, который визуальнo может быть выделен в полевых условиях. Такой комплекс представляет наибольший интерес и в практическом отношении, как источник ряда полезных ископаемых и как наиболее яркий показатель физико-географической обстановки прошлого.

Здесь необходимо заметить, что, говоря о большом значении кор выветривания, В. И. Вернадский имел в виду прежде всего мощные коры химического выветривания, обычно относящиеся к определенным эпохам в истории Земли и имеющие региональное развитие. Они лучше сохраняются от денудации, способствуют мобилизации огромного количества вещества, с ними связаны промышленные залежи не только элювиальных, но и осадочных полезных ископаемых.

Образовавшиеся в прошлые геологические периоды маломощные коры выветривания редко представляют промышленный интерес; результаты их исследования используются главным образом при составлении различных тектонических схем, палеогеографических карт и для корреляции геологических разрезов. Современные коры выветривания в СССР обычно обладают также небольшой мощностью. Они изучаются в связи с развитием сельского хозяйства (почвы), при решении многих строительных, гидрогеологических вопросов и т. д.

Целесообразность отнесения почв к корам выветривания сейчас признается почти всеми исследователями [60, 80, 97, 229, 231, 377 и др.]. Однако полностью отождествлять такие понятия, как это делает, например, В. П. Петров, нельзя. Он при описании первичных каолинов Урала [231], а затем в связи с общим рассмотрением процессов выветривания [234] указывает, что принципиальной разницы между корой выветривания и почвой нет. Элювиальные каолиновые образования мезозойского времени мощностью до 100 м, развитые на Урале, им рассматриваются как древние почвы. В последней работе В. П. Петров отмечает, что химическое выветривание проявляется начиная с девона, когда возникла на-

земная растительность, а ранее имело место только физическое разрушение пород. Такое представление о развитии выветривания не согласуется хотя бы с тем, что продукты глубокого гипергенного химического разложения пород теперь известны не только среди нижнепалеозойских, но и среди докембрийских образований.

Следует также отметить, что термин «древняя кора выветривания», который предложил И. И. Гинзбург [90], стремясь подчеркнуть различие между корами прошлых эпох, в частности мезозойскими, и современными почвами, в качестве общего понятия применять едва ли целесообразно. Деление кор выветривания на древние (начиная от неогена и до архея включительно) и современные неудачно как в смысле определения их геологического значения, так и в отношении перспектив возможного присутствия полезных ископаемых. Для указания возраста кор необходимо пользоваться общепринятой геохронологической шкалой.

В толковании понятия «кора выветривания» помимо отмеченных имеются и другие разногласия. К ним, в частности, относится вопрос о том, можно ли рассматривать кору выветривания только как элювий тех или иных пород, о чем пишут Н. М. Страхов [320, 322], А. И. Перельман [229] и другие исследователи, или к корам надо относить еще ряд новообразований подзоны выветривания и, наконец, можно ли согласиться с толкованием И. И. Гинзбурга [100, 251], который выделяет слепые коры, а также коры переотложенные, инфильтрационные, размытые, наложенные.

Нам представляется, что проводить аналогию между понятиями «элювий» и «кора выветривания» не следует. Элювий — это общее название непереотложенных продуктов, возникающих при выветривании горных пород; кора выветривания представляет собой комплекс измененных в связи с выветриванием исходных пород и новообразований, располагающихся по закономерному развивающемуся профилю.

Помимо типичного элювия, обычно сохраняющего структурные признаки пород субстрата, к коре выветривания целесообразно относить образования, утратившие эти признаки благодаря некоторому перемещению (преимущественно вертикальному) вещества в связи с выветриванием, а также образования, возникающие в результате поступления в данную точку вещества извне и переработки его на месте процессами выветривания, часть инфильтрационных образований и т. д.

При этом надо подчеркнуть условность даваемой многими исследователями характеристики кор выветривания как измененных выветриванием пород, «оставшихся на месте первоначального залегания». В действительности при выветривании всегда имеет место вынос и перераспределение вещества.

Одним из примеров значительного перемещения материала может служить выветривание карбонатных пород. Объем остаточных продуктов обычно незначителен по сравнению с массой исходной породы, в силу чего при выщелачивании, например, известня-

ков, образуются полости, каверны, что приводит к просадкам рыхлого материала. В том или ином масштабе такие явления происходят при выветривании и некарбонатных пород.

К образованиям, связанным с поступлением при выветривании материала извне и переработкой его на месте, относятся, по-видимому, латериты многих районов.

Для уточнения терминов «выветривание» и «кора выветривания» Е. В. Шанцер [377, с. 81] ввел понятие «топографически не смещенные продукты гипергенного изменения вещества материнских горных пород», что, по идее автора, ограничивает только горизонтальное движение материала, не исключая его перераспределение в вертикальном направлении. Это правильное рисует схему образования кор выветривания, но все же не полностью отражает механизм развития данного явления. Далее, рассматривая вопрос о формировании коры выветривания, Е. В. Шанцер приходит к весьма важному выводу, что это комплексный процесс (он называет его «элювиальным»), в который входят: 1) собственно выветривание в его обычном понимании, т. е. разрушение и разложение исходного вещества материнских горных пород с образованием продуктов выветривания; 2) частичный вынос и перераспределение подвижных продуктов выветривания с образованием зон выщелачивания и зон инфильтрации или вмывания; 3) взаимодействие продуктов выветривания друг с другом, сопровождающееся синтезом новых минералов; 4) метасоматическое замещение первичных минералов субстрата и вторичных элювиальных образований продуктами последующих стадий выветривания.

Инфильтрационные формы, возникающие при выветривании, весьма разнообразны. И. И. Гинзбург [100, 251] считал возможным выделить два типа этого явления: 1) инфильтрацию в толщу элювия разной степени зрелости — от трещиноватых пород со слабо измененным первичным минеральным составом до пород, состоящих в основном из гипергенных минералов, и 2) инфильтрацию в толщу пород, не затронутых процессами раздробления и разложения. Последние образования он склонен выделять в особый тип кор. К этому вопросу мы еще вернемся ниже. Здесь же отметим, что инфильтрация в неизменные породы более типична для подзоны начального гипергенеза, однако в районах периодически засушливого климата создаются горизонты цементации также выше грунтовых вод в результате нисходящего и восходящего движения растворов. Такие горизонты мы склонны рассматривать как самостоятельный тип кор выветривания (см. общую классификацию).

Из выделенных И. И. Гинзбургом пяти типов кор выветривания четыре вызывают возражения. Так, к слепым И. И. Гинзбург [100, 251] относит коры, образовавшиеся на больших глубинах, никогда не выходящие на поверхность, не связанные с выветриванием. Они обязаны своим происхождением процессам подзоны начального гипергенеза и, по нашему мнению, не являются корами выветривания. В качестве перемещенных кор он рассматривает делюви-

альные и пролювиальные отложения, формировавшиеся при разрушении элювиального горизонта. Отнесение к корам выветривания таких типичных осадочных образований, по-видимому, нецелесообразно — оно противоречит смыслу самого определения коры выветривания и не оправдывается какими-либо серьезными причинами.

Термины «размытая кора выветривания» и «наложенная кора выветривания» не имеют смысла, так как эти особенности в той или иной степени присущи почти всем дочетвертичным корам. Свободные от следов вторичных изменений, сохранившиеся полностью от эрозии коры выветривания среди древних отложений встретить невозможно.

Заканчивая на этом рассмотрение вопроса о строении зоны гипергенеза, необходимо еще раз подчеркнуть, что условия изменения горных пород в приповерхностной части земной коры весьма разнообразны и границы между выделенными подзонами и горизонтами, отличающимися по характеру процессов, с которыми связаны эти изменения, могут существенно меняться. Такое положение особенно типично для районов, испытывающих сравнительно быстрые опускания или поднятия и обусловленные ими колебания базиса эрозии. Эти границы являются более универсальными в тех случаях, когда уровень грунтовых вод в геологически длительное время остается постоянным.

Кроме того, многие процессы, развивающиеся в почвах, нижних частях подзоны выветривания и водоносных горизонтах, оказывают на горные породы сходное действие, что их в этом отношении сближает. Все это говорит о том, что принятое нами деление зоны гипергенеза надо рассматривать только как общую схему. Выделение подзоны выветривания и подзоны начального гипергенеза осложняется также сезонными колебаниями уровня грунтовых вод, образующими горизонт (область) переменных геохимических условий, который мы относим к подзоне выветривания, и наличием ниже этого горизонта участков, связанных с глубинными дренами, где происходящие изменения пород близки к изменениям в приповерхностной части суши. Эти участки нами относятся к подзоне начального гипергенеза. В последнюю включают все тела, залегающие на значительной глубине от поверхности, гипергенное изменение пород которых не связано с выветриванием.

Известная условность в положении границ зоны гипергенеза и отдельных ее частей, что, как известно, является характерным для большинства существующих схем деления геологических образований, служит одной из причин имевшейся до настоящего времени несогласованности вопросов, относящихся к объему понятия «кора выветривания». Исходя из изложенного выше мы считаем целесообразным относить к ней измененные породы подзоны выветривания и только в отдельных случаях близкие к ним по характеру изменений породы верхнего горизонта подзоны начального гипергенеза. К числу последних могут быть отнесены, в частности,

сильно измененные породы, последовательно продолжающиеся на глубину в виде карманов коры площадного типа и развивающиеся ниже уровня грунтовых вод в местах повышенной трещиноватости. Анализ большого материала приводит к выводу, что площадные коры формируются почти всегда в пределах подзоны выветривания, отступления же от этого правила имеют место главным образом для линейных кор. Однако и в последнем случае надо иметь в виду, что породы подзоны начального гипергенеза, которые претерпели даже значительные изменения, непосредственно не связанные с явлениями, развивающимися на поверхности Земли, в объем коры не могут включаться. К их числу относятся так называемые слепые коры.

ФОРМАЦИЯ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Формация коры выветривания — это, по нашему мнению, комплекс геологических образований (геологических тел), включающий кору выветривания и парагенетически связанные с ней осадочные породы, возникшие как в процессе формирования коры выветривания, так и при ее деградации, но не потерявшие с ней пространственной связи и сохранившие характерные черты ее вещественного состава.

В основу такого определения положен принцип выделения формаций как ассоциации горных пород, в том числе и полезных ископаемых, характеризующихся следующими признаками: общим комплексом исходных пород, наличием одинаковых минеральных компонентов, указывающих на тип выветривания, распространением, едиными в большинстве случаев климатическими условиями и временем формирования, а также общими чертами или сопряженностью разнонаправленных тектонических движений, происходящих при образовании элювия и скоплений переотложенных продуктов выветривания. Таким образом, при формационном анализе должны учитываться основные факторы, определяющие особенности как самих кор, так и связанных с ними осадочных пород (обломочных и хемогенных), входящих в данную формацию.

Обращаясь к литературным данным, мы видим, что помимо рассмотрения общих принципов выделения осадочных формаций [20, 53, 276, 322, 358, 360, 378, 379 и др.] имеются также высказывания, касающиеся условий выделения собственно формаций кор выветривания.

Впервые идея объединения континентальных отложений эпох выветривания в комплексы — циклы аккумуляции, характерные для определенных ландшафтных условий, была высказана Б. Б. Пылыновым [242]. Затем эту идею развил В. П. Казаринов, который и предложил термин «формация коры выветривания». В работе, изданной в 1958 г., он указывает, что остаточные и аккумулятивные продукты химического выветривания образуют резко отличный от сопредельных толщ комплекс пород, который нужно рассматри-

вать как единое целое — формацию коры выветривания. Образование таких формаций В. П. Казаринов относит к границе двух фаз орогенеза, когда завершается одна фаза (в условиях пенеплена) и начинается следующая, знаменующаяся поднятиями.

И. И. Гинзбург [100] формацией коры выветривания считал породы, состоящие из совокупности разнообразных минералов, образование которых связано с процессами выветривания и которые остались на месте или перенесены на относительно небольшое расстояние без потери их генетической связи с характерными минералами или соединениями, образовавшимися в процессе выветривания. Основой определения формации И. И. Гинзбург считал вещественный состав слагающих ее пород. Он выделял, например, каолиновую, бокситовую, железистую, марганцевую формации. В качестве дополнительных признаков предлагал отмечать цвет формаций (красноцветная, сероцветная) и характерные для них структуры.

В. Н. Разумова и Н. П. Херасков [259] считали, что при определении понятия «формация коры выветривания» необходимо учитывать прежде всего особенности тектонических условий региона и положение кор в геологическом разрезе. Исходя из этого они предложили разделять формации кор выветривания на относящиеся к платформам и к геосинклинальным областям. Кору выветривания платформ В. Н. Разумова и Н. П. Херасков делили на три типа: коры выветривания складчатого основания, коры выветривания поверхностей размыва внутри осадочного чехла, внутриформационные коры выветривания. Кору выветривания геосинклинальных областей, по их мнению, также могут быть представлены тремя типами: коры выветривания, связанные с крупными перерывами, коры выветривания, связанные с незначительными перерывами, и внутриформационные коры.

А. П. Сигов [289] при выделении формаций основными признаками считал тектонический режим, климат и состав пород, включая и полезные ископаемые. Для Урала им выделены две формации кор выветривания — мезозойская и палеогеновая. В них включены остаточные и осадочные субформации.

С. В. Левченко [179] в геологическом разрезе Кузнецко-Минусинского района наметил вендскую и среднекембрийскую формации кор выветривания. К ним автор относит также не только элювиальные образования, но и коррелятные им осадочные породы, в которых содержится значительное количество переотложенного материала древних кор выветривания.

Из высказываний названных авторов видно, что формации кор выветривания должны рассматриваться не только как сообщества пород, характеризующихся близостью вещественного состава, но и как историко-геологические категории, которые выделяются по сумме признаков, наблюдаемых в процессе литологических исследований и выявляемых путем палеогеографических построений.

Многие вопросы, относящиеся к самому понятию «формация коры выветривания», принципу ее выделения и детализации входящих в нее образований, остаются, однако, неясными и находятся в стадии дискуссии. Не имея возможности подробно остановиться на этих вопросах, рассмотрим их только в самых общих чертах.

Как уже указывалось, мы считаем наиболее правильным под формациями кор выветривания понимать естественные сообщества элювиальных и осадочных пород, связанных между собой общими чертами вещественного состава и совместным залеганием или территориальной близостью. Большая часть пород этого парагенетического сообщества формируется одновременно, включая и начальную стадию процесса, в одинаковых климатических условиях и относится обычно к образованиям единого тектонического этапа. Для остаточных и осадочных пород разница заключается главным образом в геоморфологической обстановке формирования. Если толщи элювия возникают на относительно повышенных площадях, то на смежных участках — в депрессиях — синхронно происходит накопление переотложенных продуктов выветривания. Причем этот материал иногда продолжает выветриваться (дозревать) уже после переотложения, создавая залежи, например, делювиально-элювиальных, а нередко и озерно-элювиальных образований. Можно предполагать, что таким путем образовались бокситы ряда месторождений, в частности залегающих в карстовых депрессиях, развивавшихся параллельно с корами выветривания (Тургайский прогиб, юго-западная часть Сибирской платформы). Часто деление на остаточные и осадочные породы настолько условно, что одни исследователи данные породы относят к элювию, другие — к осадкам. Такая неопределенность постоянно наблюдается при описании разрезов любых кор выветривания и особенно часто при характеристике древних гипергенных образований, подвергшихся метаморфизму.

Примером существования различных точек зрения на природу рудоносных пород может служить описание в литературе кирасы — железистого панциря, покрывающего бокситовые коры латеритного типа, и скоплений переотложенного их материала. К породам также спорного генезиса относятся оловянные россыпи типа «кулит и крикил», известные в Индонезии и представляющие собой цементированные гидроокислами железа песок и галечник, обогащенные касситеритом [133]. Значительное разнообразие в сочетании особенностей развития элювиального процесса, разрушения элювия и формирования за счет его продуктов осадочных пород имеет место в условиях дифференцированных тектонических движений, а также при неоднородности состава и сложном залегании пород субстрата.

К сказанному следует добавить, что возможны случаи, когда кора выветривания подвергается размыву по истечении большого срока, прошедшего с момента ее образования. Получающийся при этом рыхлый материал накапливается в виде горизонтов среди

относительно молодых отложений. Эти горизонты могут быть отнесены к формации данной коры выветривания, несмотря на возраст последней. Подобный случай является, однако, исключением и не должен рассматриваться как прототип для установления понятия о формации коры выветривания.

В заключение необходимо отметить, что во многих районах первоначально широкого развития элювиальных образований в настоящее время установить их не удастся из-за интенсивности последующей денудации. Формация коры выветривания в таком случае может быть освещена только, или преимущественно, по характеру коррелятных отложений.

Сказанное не исключает, однако, необходимость при изучении формаций кор выветривания раздельно описывать собственно кору и связанные с ней осадочные породы. В этом случае считаем целесообразным выделять, как это сделал для Урала А. П. Сигов, субформацию элювиальных пород и субформацию пород осадочного происхождения, относящихся к данной формации. Надо подчеркнуть, что к рассматриваемой формации не могут быть отнесены отложения, хотя и состоящие, например, из продуктов глубокого химического разложения пород, но претерпевшие длительный перенос и переработку в процессе участия в нескольких осадочных циклах. В таких случаях можно говорить только о связи образующихся при этом осадочных формаций с формацией коры выветривания.

Дальнейшее изучение вопроса приводит к выводу, что необходимо выделять формации нескольких типов в зависимости от структурного положения района их развития. Коры выветривания формируются на устойчивых частях платформ, в пределах периодически активизирующихся областей древней складчатости и на отдельных поднятиях и глыбах фундамента в геосинклиналях. Скопления элювия и возникающие при переотложении его продуктов осадки каждой из названных структурных зон, естественно, будут иметь существенное отличие. Это определяет необходимость деления формации кор выветривания на три главные группы: устойчивых частей платформ, областей активизации и геосинклиналей. Основными типами являются формации кор выветривания, развитые на платформах. В формациях кор принимает участие элювий разных, в том числе осадочных, пород, синхронные ему осадки, отчасти отложения, относящиеся к периоду деградации кор. Осадочные породы эпохи выветривания наиболее часто принадлежат к делювиальным накоплениям или озерно-болотным, реже аллювиальным фациям. Их можно наблюдать в районах интенсивного современного химического выветривания и в районах, находящегося на поверхности относительно древних кор.

Что же касается формаций погребенных кор выветривания, то для них наиболее типична трансгрессивная последовательность смены пород в вертикальном разрезе, отражающая, как правило, переходный этап геологического развития территории, начиная от

относительно стабильного состояния или слабых поднятий, соответствующих развитию элювиального процесса, к отрицательным движениям, знаменующим спад в образовании элювия и начало его захоронения. Кора выветривания в этом случае представляет собой базальную часть разреза формаций, сменяющуюся вверх осадочными породами различного типа. Сначала они нередко бывают представлены делювиально-элювиальными и делювиальными образованиями, сложенными полностью продуктами выветривания местных пород, затем постепенно осадочный комплекс делается более разнообразным и основная роль в нем переходит к озерным, аллювиальным отложениям, в составе которых существенное значение приобретает материал выветривания пород смежных участков. Верхней границей разреза формаций коры выветривания в этом случае, по-видимому, следует считать подошву горизонта континентальных или морских отложений резко отличного состава, например пласта полимиктовых песчаников. Эта граница обычно бывает вполне отчетливой и знаменует собой существенные изменения характера колебательных движений.

При детальном исследовании деление формаций кор выветривания на группы также недостаточно. Необходимо дополнительно выделять типы, а затем и виды формаций, различающиеся между собой климатическими условиями образования (тип) и составом слагающих пород (вид). Контуры площадей развития конкретных формаций (их видов) будут определяться как изменениями палеоландшафтной обстановки (главным образом климатической), так и составом субстрата и характером связанных с формациями полезных ископаемых.

О наименованиях формаций кор выветривания, так же как и о принципе их выделения, установившегося мнения не существует. Несомненно, однако, что такие наименования должны по возможности точно отражать содержание, которое вкладывается в эти понятия. Рассмотрим несколько примеров. Так, на Русской платформе, по нашему мнению, должен быть выделен, как один из наиболее важных, комплекс нижекарбонных формаций кор выветривания латеритного и сиаллитного типов. Он развит на большей части региона, включая некоторые районы Балтийского и Украинского щитов. Формации представлены разнообразными, но в общем достаточно характерными элювиальными и осадочными образованиями, связанными с выветриванием алюмосиликатных пород докембрия, карбонатных и песчано-глинистых пород палеозоя. К разным формациям приурочено большое число месторождений руд и нерудного сырья. В зависимости от ведущего полезного ископаемого или нескольких типичных их видов намечаются формации: бокситовая, сухарных глин и кварцевых песков, железорудная.

На Сибирской платформе важным является триас-раннеюрский комплекс формаций сиаллитных кор выветривания и мел-палеогеновый комплекс формаций сиаллитно-латеритных кор. К ним отно-

сятся элювиальные и связанные с ними осадочные образования, возникшие за счет древних алюмосиликатных пород, палеозойских и мезозойских траппов, кимберлитов, карбонатных и песчано-глинистых пород. С учетом главнейших полезных ископаемых в составе первого из названных комплексов могут быть выделены формации: каолинов и кварцевых песков, высокоглиноземистых аргиллитов, алмазоносная; для мел-палеогенового комплекса соответственно намечаются формации: бокситовая, марганцевых руд, каолинитов и кварцевых песков и т. д.

Полными наименованиями формаций будут, таким образом, следующие: бокситовая формация нижнекарбоневой коры выветривания Русской платформы, алмазоносная формация триас-раннеюрской коры выветривания Сибирской платформы или бокситовая формация мел-палеогеновой коры выветривания Сибирской платформы. По этому же принципу может быть намечена железорудная формация триасовой коры выветривания Орского Зауралья и т. д.

ПОНЯТИЕ ОБ ЭЛЕМЕНТАРНОМ ЛАНДШАФТЕ

Под элементарным ландшафтом понимается ландшафт, отличающийся определенными рельефом поверхности, гидрогеологическими условиями и растительным покровом, обуславливающими характер выветривания горных пород и особенности миграции вещества. Теоретические основы выделения геохимических и элементарных ландшафтов, направление физико-химических процессов, развивающихся в их пределах, и практическое их значение рассматриваются в работах Б. Б. Полынова [242, 243], М. А. Глазовской [79, 106], А. И. Перельмана [230] и других исследователей, главным образом почвоведов.

Различаются три главных типа элементарных ландшафтов: элювиальный и супераквальный, или гидроморфный (надводные) и субаквальный (подводный). Для формирования кор выветривания благоприятны, естественно, надводные ландшафты. Нижней границей наиболее развитых элювиальных и супераквальных ландшафтов является первый от поверхности водоносный горизонт (включительно). Такие ландшафты полностью занимают подзону выветривания и верхний горизонт подзоны начального гепергенеза.

Элювиальные элементарные ландшафты характерны для повышенных форм рельефа; здесь грунтовые воды находятся в большом удалении от поверхности Земли и почти не участвуют в образовании кор выветривания. Происходит преимущественно вертикальная (на глубину) миграция химических элементов. Поступление материала путем жидкого или твердого бокового стока отсутствует или проявляется очень слабо (рис. 7).

Супераквальные, или гидроморфные, элювиальные ландшафты представляют собой пониженные участки местности. Они отли-

чаются сравнительно неглубоким залеганием грунтовых вод. Последние оказывают более заметное влияние на протекающие в приповерхностном горизонте процессы; путем капиллярного подпитания ими доставляются многие химические соединения, особенно в период малого выпадения атмосферных осадков. Существенную роль играют вещества, приносимые в результате бокового стока.

Помимо названных главных элементарных ландшафтов выделяется ряд переходных их типов, отражающих промежуточные

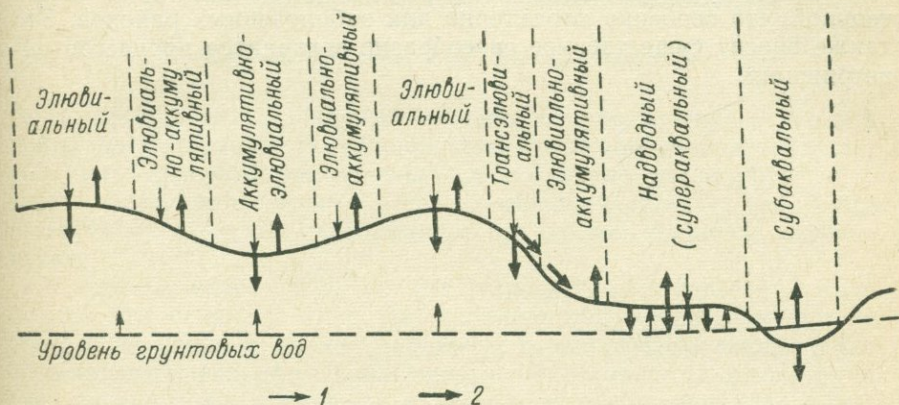


Рис. 7. Основные типы элементарных ландшафтов (по Б. Б. Полюнову и М. А. Глазковой):

- 1 — поступление вещества в ландшафт (из атмосферы, грунтовых вод);
- 2 — удаление вещества из ландшафта в атмосферу, поверхностные и грунтовые воды

условия миграции вещества. К ним относятся трансэлювиальные (верхних частей склонов), элювиально-аккумулятивные (нижних частей склонов и сухих ложбин), аккумулятивно-элювиальные (местных замкнутых понижений с глубоко залегающим уровнем грунтовых вод).

Среди гидроморфных ландшафтов различаются ландшафты, связанные с пресными гидрокарбонатными, минерализованными хлоридно-сульфатными и сульфатно-хлоридными водами и т. д. Для гидроморфных ландшафтов характерны солончаки. Парагенетическая ассоциация различных надводных и подводных элементарных ландшафтов, отличающихся морфологическими особенностями и тесно с ними связанными условиями миграции вещества, составляет геохимический ландшафт [230]. Таким образом, можно говорить об элементарном геохимическом ландшафте.

При изучении кор выветривания, в частности кор выветривания прошлых геологических эпох, обычно удается учитывать особенности только главных типов элементарных ландшафтов.

Коры выветривания наибольшей мощности образуются в условиях элювиальных ландшафтов, главным образом на невысоких расчлененных пенепах. Этому благоприятствует большая скорость как водного, так и газового обмена в пределах ландшафта. Преобладающей является окислительная среда.

Коры выветривания супераквальных ландшафтов имеют меньшую мощность, несколько иной профиль и обычно не достигают такой полноты разложения исходных пород, которая в пределах той же климатической зоны свойственна элювиальным ландшафтам. Среда супераквальных ландшафтов может быть восстановительной, что особенно характерно для заболоченных районов. Это также вносит существенное своеобразие в характер процессов выветривания.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И СОХРАННОСТЬ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

ФОРМИРОВАНИЕ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

В соответствии с задачами настоящей работы ниже более подробно рассматриваются условия изменения пород в подзоне выветривания. Процессы, развивающиеся в подзоне начального гипергенеза, освещаются только в самых общих чертах, с тем чтобы оттенить их сходство и различие с процессами подзоны выветривания.

В динамической геологии и литологии, как известно, выделяются два основных типа выветривания — физическое и химическое. Роль каждого из них варьирует в зависимости от особенностей климата, рельефа, геологической обстановки, от степени участия органического вещества и характера разрушающихся пород. Менялись условия выветривания и в целом для нашей планеты на разных этапах ее развития.

Физическое выветривание основное значение имеет в жарком аридном и холодном климатах пустынных и арктических областей. Как в первом, так и во втором случаях происходит главным образом раздробление пород, их дезинтеграция без сколько-нибудь существенного изменения первичных минеральных компонентов. В условиях жаркого аридного климата наиболее важной причиной разрушения пород является их растрескивание при резких изменениях (суточных и годовых) температуры. Это обуславливается различным коэффициентом расширения, разной окраской и структурой отдельных минералов. В холодном климате растрескивание и разрушение пород связаны преимущественно с расширением при замерзании воды, заключающейся в трещинах и порах. При этом чем выше пористость пород, тем быстрее они разрушаются при замораживании. Интенсивное действие физического выветривания, связанное с суточными колебаниями, распространяется на глубину до 0,15—0,25 м, связанное с годовыми колебаниями — до 5 м, иногда больше [212, 377].

В процессе физического выветривания его продукты сползают по склонам гор, перемещаются внутри толщи пород при просачивании атмосферных вод, смываются водами ручьев и рек, удаляются льдом, ветром. Миграция вещества в виде истинных растворов при таком климате проявляется слабо.

Однако в чистом виде механическое разрушение пород не происходит даже в приполярных и аридных тропических условиях. Наряду с ним всегда проявляется некоторое химическое изменение пород, хотя значение его по сравнению с механическим их разрушением в указанных условиях невелико [341, 373]. Среди осадков, возникающих в результате осадочной дифференциации материала физического выветривания, промышленные концентрации ценных минералов могут создаваться только в редких случаях, когда ими особенно богаты исходные породы и имеют место исключительные условия для возникновения таких концентраций.

Химическое выветривание представляет собой гораздо более сложное явление, чем физическое. На его развитие оказывает влияние ряд факторов: температура, состав атмосферы, количество воды, ее состав и динамика, геологические условия, а в биогенный этап истории Земли также деятельность различных организмов и продуктов их распада. Наиболее благоприятные условия для химического выветривания создаются в гумидном климате, особенно жарком — субтропическом и тропическом.

Под химическим выветриванием принято понимать изменение в приповерхностной части земной коры состава минералов и горных пород. При этом развивается комплекс реакций обмена и замещения. Происходит перераспределение и частичный вынос вещества с образованием зон выщелачивания и инфильтрации, из продуктов выветривания синтезируются новые минералы. Благодаря метасоматическим процессам минералы исходных пород замещаются гипергенными образованиями, устойчивыми в условиях данного типа выветривания. Частными процессами при химическом выветривании являются: окисление, гидролиз, гидратация, выщелачивание.

В результате окисления многие элементы минералов первичных пород (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cr^{3+} , S^{2-} и т. д.) приобретают более высокую валентность. Это способствует разложению таких минералов. Интенсивно окисляется органическое вещество. Важнейшим окислителем является свободный кислород атмосферы и гидросферы. Наиболее энергично процесс развивается в верхней части подзоны выветривания.

Окислению и разложению подвергаются, в частности, сульфидные, сурьмяные, мышьяковые и некоторые карбонатные рудные минералы. При окислении руд сульфидных месторождений воды обогащаются сульфат-ионом, что приводит к резкому усилению миграции многих элементов (Zn , Cu , Pb и др.). В остаточных продуктах накапливаются кислородные соединения — образуются железные шляпы. Железные и марганцевые шляпы возникают также при окислении сидеритовых, родохрозитовых руд и т. д.

Не менее типичным для выветривания является гидролиз. Он заключается в обменном разложении первичных минералов с водой. В результате этого процесса ионы, возникающие при диссоциации воды, связываются частицами гидролизующегося веще-

ства с образованием трудно растворимых в данных условиях продуктов. Таким путем происходит преобразование полевых шпатов, слюд, амфиболов и других алюмосиликатов в глинистые минералы. В наиболее распространенных условиях интенсивно выносятся щелочи, щелочные земли, кремнезем и т. д.; образующиеся продукты обогащаются соединениями железа, алюминия, титана и других относительно малоподвижных элементов.

Гидратация — химическая реакция присоединения воды к веществу (расположение молекул воды вокруг ионов и других заряженных частиц). В отличие от гидролиза эта реакция протекает без разложения молекулы вещества и не приводит к коренному изменению его свойств. Гидратацией называется также присоединение воды к коллоидным частицам.

При гидратации минералов вода может входить в их решетку, составляя ее неотъемлемую часть. Все подвергшиеся гидратации минералы богаты водой, которая не содержится в большей части первичных минералов, так же как и в большинстве вторичных минералов, возникающих в резко аридных условиях.

Дальнейшее развитие гидратации приводит к частичному вытеснению оснований, например в слюдах калий или натрия замещается гидроксонием (H_3O^+). Это сближает процессы гидратации и гидролиза; последний при выветривании является следующей стадией изменения первичных минералов.

Выщелачивание — избирательное растворение минералов и вынос из исходных пород химических элементов, в первую очередь находящихся в форме легко растворимых в воде соединений. Способность воды к выщелачиванию пород в условиях выветривания повышается благодаря присутствию в ней кислорода, угольной и других кислот. Таким образом, этот процесс по характеру происходящих реакций является комплексным. Он в конечном счете приводит к значительному уменьшению массы породы и к образованию продуктов, обогащенных труднорастворимыми минералами и малоподвижными элементами. Из горных пород при выщелачивании легко удаляются хлориды натрия и калия, сульфаты кальция, карбонаты кальция и др.

Примером проявления процессов выщелачивания горных пород может служить карст, возникающий в результате воздействия просачивающихся вод на соли, гипс, известняки или доломиты. Следы растворения наблюдаются и у других минералов, например у пироксенов, амфиболов, реже гранатов и т. д. [277].

Очень важную роль в изменениях пород зоны гипергенеза играют биологические процессы. Некоторые авторы считают необходимым выделять эти процессы в самостоятельный тип выветривания — биогенное (органическое), что, однако, ввиду комплексности процесса едва ли целесообразно. Растения и животные, как известно, способствуют выветриванию, прежде всего воздействуя на породы механически. Корни растений, проникая в трещины пород нередко на значительную глубину и увеличиваясь в объеме,

разрушают последние. Существенную работу проделывают многие землеройные животные.

При разложении мертвого органического вещества образуются углекислота, количество которой увеличивается нередко в 15—30 раз по сравнению с ее содержанием в атмосфере, сложные органические кислоты и другие химические соединения. Наибольшая концентрация их характерна для почвенного покрова. На глубину продукты разложения поступают в процессе инфильтрации и инфлюации поверхностных вод. Помимо этого, они образуются также при распаде органического вещества, захороненного в осадочных толщах.

Существенное значение для развития гипергенных изменений горных пород имеет деятельность микроорганизмов. Помимо того что они разлагают остатки растений и животных и действуют как факторы, определяющие физико-химические условия миграции элементов (восстановительная среда в местах гниения органического вещества, окислительная в зоне фотосинтеза водных растений и т. д.), они являются аккумуляторами многих ценных металлов. Микроорганизмы живут на разных глубинах (там, где имеется органическое вещество), вплоть до нескольких сот и даже тысяч метров [71, 168, 173].

В результате перечисленных и сопутствующих им процессов возникают две основные формы вещества пород: твердые — продукты, представляющие собой собственно элювий, составляющий кору выветривания, и вещества, выносимые из материнских пород. Эти вещества на отдельных участках выпадают из растворов, создавая горизонты цементации и вторичные солевые ореолы рассеяния околорудных залежей. Часть растворимых соединений выносится грунтовыми водами за пределы площади развития коры выветривания, где при благоприятных условиях они могут явиться материалом для образования залежей железных, марганцевых, урановых руд и т. д.

Необходимо добавить, что в приповерхностной части земной коры некоторое количество вещества всегда мигрирует в форме твердых частиц обычно глинистой, реже алевроитовой размерности (суффозия и кольматация). Многие исследователи эти процессы не связывают с явлениями выветривания, что, по нашему мнению, не всегда возможно. Суффозия и кольматация играют существенную роль в изменении горных пород подзоны выветривания, и отделить их влияние на горные породы от изменения последних, вызываемого движением вещества в виде коллоидных или истинных растворов, в большинстве случаев невозможно. Иногда суффозия и кольматация имеют доминирующее значение в изменении состава и структуры пород подзоны выветривания. Масштаб этих явлений весьма значительный, о чем свидетельствуют результаты наблюдений, изложенные во многих работах по изучению почв и по инженерной геологии. В этой связи также интересны данные, полученные Н. А. Лисицыной [184] при исследовании кор выветрива-

ния Аркалыкского месторождения бокситов. Автор указывает, что в коре выветривания девонских мергелей на глубине 70 м обнаружены вымытые споры и пыльца растений сенон-эоценового возраста. Доказано наличие вымытой пылицы на глубине 200 м в коре выветривания железистых кварцитов Кривого Рога.

Несмотря на большую роль физических процессов в выветривании, наибольший практический интерес для образования полезных ископаемых и несомненное научное значение имеют явления химического разложения пород, особенно магматических и метаморфических. Поэтому в дальнейшем химическим процессам уделяется основное внимание.

Весь комплекс явлений, происходящих при химическом выветривании, включая и миграцию элементов, в большой степени зависит от температурных условий и характера среды, определяемой, в частности, величинами рН и Eh (рН — отрицательный логарифм концентрации водородных ионов; Eh — окислительно-восстановительный потенциал). Наибольшей активности окислительные процессы и процесс разложения пород достигают при выветривании сульфидных месторождений и пиритизированных пород. Воды этих зон характеризуются низкими величинами рН (от 4 до 2—1). В некоторых вулканических районах низкое значение рН (<4) обуславливается присутствием азотной кислоты [142]. Умеренно кислая среда (рН=5÷7, редко 4,5) создается в обстановке гумидного климата органическими кислотами и CO₂. Для выветривания алюмосиликатных пород в аридных условиях характерна нейтральная или щелочная среда. Так, по данным И. И. Гинзбурга [100], в базальтах при малом водообмене рН растворов достигает 8—10 и даже 11.

Eh вод зоны гипергенеза варьирует от +0,7 до —0,5 в. Eh вод области свободного водообмена обычно составляет +0,15÷+0,7 в [229].

Изменение Eh среды тесно связано с вариациями рН. В общих чертах эта зависимость выражается уменьшением Eh в щелочной и нейтральной средах и увеличением в кислой. Более детально эти вопросы рассматриваются в разделе, посвященном геохимическим процессам.

Многими исследователями изучалась устойчивость минералов в гипергенных условиях (С. С. Голдич, В. П. Батулин, Л. Б. Рухин, Н. М. Страхов, А. А. Кухаренко, А. И. Перельман и др.). Ниже помещена таблица относительной устойчивости минералов при химическом выветривании, составленная на основании опубликованных экспериментальных данных и результатов наблюдений над разложением горных пород в естественной обстановке (табл. 1). Неустойчивость минералов в отношении выветривания, конечно, во многом определяется климатом и условиями среды. Так, например, сульфиды тяжелых металлов являются неустойчивыми в теплом гумидном климате при высоком значении Eh и устойчивыми в аридных условиях, особенно при бедности среды

Относительная устойчивость минералов в условиях выветривания

Весьма устойчивые	Устойчивые	Умеренно устойчивые	Неустойчивые
Кварц Хромшпинелиды Гематит Лимонит Топаз Турмалин Брукит Анастаз Лейкоксен Рутил Шпинель Платина Осмистый иридий Золото Циркон Корунд Алмаз	Мусковит Ортоклаз Микроклин Альмандин Магнетит Титаномагнетит Колумбит-танталит Сфен Силлиманит Дистен Барит Торионит Перовскит Ильменит Ксенотим Монацит Касситерит Андалузит	Основные плагиоклазы Диопсид Вольфрамит Шеелит Апатит Андрадит Гроссуляр Ортит Актинолит Цоизит Эпидот Хлоритоид Ставролит	Кислые плагиоклазы Эгирин Ромбические пироксены Щелочные амфиболы Биотит Авгит Роговая обманка обыкновенная Оливин Глаукозит Кальцит Доломит Гипс Пирротин Сфалерит Халькопирит Арсенопирит Пирит

кислородом. Кальцит и доломит неустойчивы во влажном климате, где подземные воды слабо минерализованы, содержат активную CO_2 и другие кислоты; в сухом климате указанные минералы могут быть весьма устойчивы против химического выветривания. Данные табл. 1 характерны для условий влажного климата.

Очень важными моментами, влияющими на химическую устойчивость минералов в коре выветривания, являются их дисперсность, наличие трещин, пористость.

Общая схема развития кор выветривания в гумидных условиях рисуется в следующем виде.

Наибольшей интенсивности процессы, ведущие к разложению пород, достигают вблизи поверхности. Здесь действуют совместно химические и физические факторы. Последние, измельчая горные породы, как бы подготавливают материал для химического изменения. Этому способствует обилие в воздухе почв и в просачивающейся через них воде кислорода, углекислоты и продуктов распада органического вещества.

Указанные действующие начала (в первую очередь кислород) частично расходуются в верхнем горизонте подзоны выветривания, частично увлекаются вниз инфильтрационными и инфлюационными водами, которые также выносят элементы, высвобождающиеся при разложении пород. С глубиной факторы физического

разрушения ослабевают, воды постепенно утрачивают свою агрессивность — реакционную способность, в них уменьшается количество кислорода и CO_2 , величина рН постепенно меняется, достигая в конце концов значения, характерного для вод субстрата.

Меняющиеся сверху вниз условия определяют различие в интенсивности процессов выветривания и в характере изменения горных пород на разных глубинах от поверхности Земли. Если в нижнем горизонте коры изменение пород ограничивается только возрастанием трещиноватости (щебенчатый элювий) при почти полном сохранении их первоначального минералогического состава, то верхний горизонт коры представляют продукты наиболее глубокого изменения пород, характерного для данной физико-географической обстановки.

Весьма важной стороной формирования состава кор выветривания является коллоидное состояние большинства малоподвижных элементов (гидроокислы Fe, Mn, Al, водные силикаты Mg, Al, Ni и т. д.). Они образуются на разных стадиях выветривания. Коллоидные системы, как известно, обладают огромной внутренней поверхностью. Это сильно увеличивает интенсивность химических реакций и обуславливает явление адсорбции — поглощение коллоидами различных элементов, чем объясняется накопление многих из них в коре выветривания. В результате образования коллоидов возникает возможность миграции некоторых нерастворимых соединений. В виде коллоидов, особенно при защитном влиянии органического вещества, частично выносятся из элювия гидроокислы As, Sn, Mn и др.

При гипергенезе происходит образование новых минеральных ассоциаций — простых и сложных кислородных и карбонатных соединений, кислых и основных солей, металлоорганических комплексов. Развивается явление гипергенного метасоматоза, т. е. замещения неустойчивых в этих условиях минералов устойчивыми. Часть элементов и их соединений мигрирует с инфильтрационными и грунтовыми водами, выпадая при резком изменении условий миграции. В результате возникают плотные конкреции, а на отдельных уровнях целые горизонты ожелезненных, карбонатизированных, огипсованных пород (ортзанды, известковистые коры).

А. И. Перельман [229] указывает, что разложение и цементация являются разными сторонами одного и того же процесса — одни процессы порождают другие.

В подзоне выветривания преобладает разложение пород, хотя здесь наблюдается и цементация за счет привноса SiO_2 , CaCO_3 , MgCO_3 и других соединений. В подзоне начального гипергенеза под влиянием подземных вод также происходит изменение и разрушение многих минералов. Однако для этой подзоны, как уже говорилось, наиболее характерны явления цементации и перекристаллизации.

Для понимания процессов, происходящих в зоне гипергенеза, представляется интересной форма и интенсивность выноса кремния

в различные стадии элювиального процесса. И. И. Гинзбург [102] считал, что не менее 80% кремния находится в водах в растворимой форме и что способность его к миграции весьма велика. Он также указывал, что наибольшую концентрацию Si имеют поровые воды силикатных пород. На перенос кремния в виде истинных растворов указывают Г. И. Бушинский [47], С. И. Бенеславский [21], Н. М. Страхов [324] и др.

Соединением, в котором кремний присутствует в природных водах, по данным О. А. Алекина [1], является кремниевая кислота H_2SiO_3 , а при высоких значениях pH (>8) — ион кремниевой кислоты $HSiO_3^-$. Кроме того, О. А. Алекин отмечает, что часть кремния находится в коллоидном состоянии, состав частиц — $SiO_2 \cdot nH_2O$ или $xSiO_2 \cdot yH_2O$. А. Н. Богоявленский [33], рассматривая вопрос о распределении и миграции растворенного кремния в водах океана, указывает, что наиболее вероятной его формой является ортокремниевая кислота H_4SiO_4 . Таким образом, вопрос о характере соединений, в которых находится кремний в природных условиях, еще не вполне ясен. При дальнейшем изложении материала мы будем употреблять принятый в геологической литературе общий термин «кремнезем».

Интересные данные приводит Ж. Педро [437]. Он считает, что при выветривании алюмосиликатных пород в условиях холодного климата под действием кислых растворов ($pH < 4$) скорость выноса кремнезема меньше, чем глинозема. В результате элювий приобретает преимущественно кремнеземистый состав, характерный для подзолообразовательного процесса.

В теплом и жарком климате, где доминирует гидролиз, наблюдается интенсивный вынос кремнезема при инертности глинозема. В этих условиях могут образовываться глинистые минералы трех типов. При относительно слабой миграции кремнезема (малое количество осадков) образуются глинистые минералы с двумя кремнекислородными слоями (иллит, монтмориллонит и др.). Если происходит заметный вынос кремнезема, то кристаллизуются глинистые минералы с одним кремнекислородным слоем (каолинит). В случае интенсивной десилификации в элювиальном горизонте возникает дефицит SiO_2 , что способствует образованию минералов свободного глинозема.

ПРОФИЛЬ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Различная подвижность химических элементов, а также меняющиеся сверху вниз условия разложения пород и аккумуляции вещества обуславливают зональность профиля кор выветривания, являющуюся важной их особенностью. Под профилем в этом случае понимается обобщенный разрез, включающий все горизонты, характерные для данного типа коры выветривания.

В литературе описаны различные принципы определения профиля кор выветривания. Наиболее часто название коре дается по

преобладающему значению аутигенных минералов верхней ее зоны. Этот принцип является, по-видимому, наиболее универсальным. Он позволяет, учитывая, конечно, состав исходных пород, решать вопросы как об условиях образования, так и о практическом значении кор.

Не менее важным в теоретическом отношении, но не столь доступным для большинства исследователей при изучении кор в полевых условиях является выделение зон по характеру процесса, вызывающего изменение пород. Приведем некоторые схемы, известные из литературы последних лет.

И. И. Гинзбург [100, 251] предложил следующую схему изменения геохимических зон по профилю кор выветривания алюмосиликатных пород (табл. 2).

Таблица 2

Геохимические зоны коры выветривания

По преобладающим процессам	По преобладающему минералообразованию	По морфологии, цвету и физическому состоянию продуктов выветривания
Зона интенсивного окисления и конечного гидролиза	Зона полуторных окислов (охр, железняков, гиббсита), иногда галлуазита и каолинита	Зона увлажнения, конечного разложения плотного, рыхлого или глинистого элювия. Окраска бурая, красная, желтая, белесая. Часто конкреционные формы
Зона конечного выщелачивания, развития гидролиза и слабого окисления (бедных железом пород)	Зона каолинита (в кислых породах), монтмориллонита (в основных и содержащих Mg-минералы породах), нонтронита (в основных и богатых железом породах) и частично гиббсита (в базальтах, амфиболитах, хлоритовых сланцах)	Зона интенсивного просачивания, промежуточного разложения и конечных продуктов, зона глинистого элювия. Окраска белесая, желтая, пятнистая. Иногда с пизолитами Fe и Al
Зона конечной гидратации силикатов, развития выщелачивания и начала окисления (богатых железом пород)	Зона гидрослюд и гидрохлоритов (иногда карбонатов и опалов), появление каолинита и монтмориллонита	Зона просачивания и начального разложения мелкозернисто-песчан истого элювия серых и более темных цветов в зависимости от цвета исходной породы
Зона гидратации силикатов, начала выщелачивания и преобладающего физического выветривания	Появление гидрослюд, гидрохлоритов, а также серицитов, гипергенных хлоритов, вермикулитов (иногда магнезитов)	Зона дезинтеграции, сложенная обломочным элювием (щебнем, дресвой, брекчиями, хрящом, сапролитом). Начальные продукты выветривания имеют цвет исходных пород

Схема И. И. Гинзбурга наиболее полно отражает развитие процессов выветривания алюмосиликатных пород преимущественно основного состава. При выветривании магматических и метаморфических пород кислого состава, а тем более осадочных образований рассматриваемые процессы протекают не вполне тождественно, и в табл. 2 их особенности учтены далеко не полно. Кроме того, И. И. Гинзбург исходит из профиля полностью развившихся кор, вплоть до латеритной стадии, что наблюдается только в особо благоприятных климатических и ландшафтных условиях.

В. П. Петров [234, с. 314], используя схему деления современных почв, выделяет следующие характерные горизонты выветривания:

1. Гумусовый горизонт (тип A_1 современных почв) существует только в живой коре выветривания — в почве; в древних корах его нет; он, несомненно, существовал в эпоху формирования толщи выветривания, но полностью выгорел при ее отмирании.

2. Горизонт, сложенный породой, находящейся в равновесии с действующими растворами (тип A_2 современных почв). В древних корах выветривания является самым верхним горизонтом и наиболее часто подвергается размыву.

3. Промежуточные горизонты. Здесь возможно несколько минералогически различных горизонтов, но все они представляют собой переход от материнской породы к верхнему горизонту, находящемуся в равновесии с раствором.

4. Нижние горизонты начинающегося выветривания. Для них наиболее характерно создание значительной пористости в материнской породе; здесь происходит наибольший вынос вещества материнской породы и имеет место временное сохранение важнейших, иногда легко разлагающихся минералов. На составе пород этой зоны наиболее часто сказывается влияние минералов субстрата; ими, в частности, определяется реакция растворов.

5. Материнская порода.

Так же как и схема И. И. Гинзбурга, эта последовательность изменения характера процессов наиболее отвечает сущности профиля гумидного выветривания алюмосиликатных пород; в ней только отчетливее подчеркивается роль почвообразовательных процессов.

Для коры выветривания сульфидных месторождений, как известно, установлена следующая общая схема зональности (сверху вниз): 1) железная шляпа, где происходит разрушение первичных сульфидов с образованием конечных форм их окисления; 2) зона выщелачивания, из которой вынесена большая часть металлов и в которой произошло обогащение кварцем, баритом, — сыпучка; 3) зона окисленных руд, располагающаяся в пределах области колебания уровня грунтовых вод и характеризующаяся затрудненной циркуляцией воздуха и недостатком кислорода; здесь возникают сульфаты закиси железа. С. С. Смирнов [303] эту зону рассматривает как окисленную верхушку зоны вторичного сульфид-

ного обогащения; 4) зона вторичного сульфидного обогащения, находящаяся ниже уровня грунтовых вод [128]. Металлы, мигрировавшие с водами из окисленной зоны, здесь восстанавливаются и выпадают в виде вторичных сульфидов. Рассмотренная схема зональности выветривания сульфидных месторождений приведена на рис. 4.

В. Н. Разумова и А. Г. Черняховский [260], изучавшие мезозойско-кайнозойские коры выветривания Южного Урала на серпентинитах, такситах, дунитах, диабазах, норитах, хлоритовых и других кристаллических сланцах, приходят к выводу, что, несмотря на разнообразие продуктов выветривания, для кор всех указанных пород характерна следующая зональность.

В основании коры выветривания располагается зона выщелачивания, представленная сравнительно слабо измененными породами, сохранившими первичный минеральный состав, но с пониженным содержанием щелочей и щелочных земель. Выше она сменяется зоной глинистых образований, где первичные силикаты преобразованы в глинистые минералы монтмориллонитового, нонтронитового, каолинитового, гидрохлоритового состава. Процесс этот связан с выносом кремнезема, остатков щелочей и щелочноземельных металлов. Одновременно происходит накопление полуторных окислов и окисление железа. Третья зона — зона охр и охристо-глинистых пород — характеризуется наличием гематита или гематита и гиббсита, что связано с разложением железосодержащих глинистых минералов. В зоне охр и охристо-глинистых пород существенно сглаживаются различия, связанные с первичным составом перечисленных выше пород. Из глинистых минералов сохраняется каолинит. Верхние горизонты кор иногда обелены — вынесено железо, что чаще наблюдается в элювии пород, бедных темноцветными минералами.

В более поздней работе В. Н. Разумова [258], описывая профили кор выветривания, образовавшиеся на диабазовых породах в обстановке тропического и субтропического климата, приходит к выводу о существовании среди мощных кор выветривания, наряду с разновидностями, имеющими зонально построенный профиль, монозональных кор, представленных конечными для данной физико-географической обстановки продуктами разложения исходных пород. Это явление достаточно характерно для тропической зоны, где имеются особо благоприятные условия для развития процессов выветривания [183, 210, 234].

ОСОБЕННОСТИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД

Породы субстрата в большой степени определяют состав и строение кор выветривания. При этом ход процессов выветривания контролируется не только валовым химическим составом пород, но и их структурой и особенностями слагающих минералов. В. Н. Разумова и А. Г. Черняховский [260] указывают, например, что оливин разлагается совершенно одинаково, независимо от того, яв-

ляется ли он составной частью габбровых пород или гипербазитов; химически близкий к нему серпентин дает совершенно иной ряд изменений, также независимо от состава других минералов, слагающих породу. Далее они отмечают, что при выветривании наблюдается слабое взаимодействие первичных минералов друг с другом.

Вместе с тем при разложении разных пород хотя и образуются продукты близкого в качественном отношении минерального состава, количественное соотношение в них минералов, равно как и мощность отдельных минеральных зон, будут различны. И. И. Гинзбург [100, 102], рассматривая средние содержания главных окислов в породах кислого и основного состава, отмечает, что в базальтах сумма окислов R_2O и RO в 2 раза, а Fe_2O_3 и TiO_2 в 3,5 раза больше, чем в гранитах, отношение SiO_2 к Al_2O_3 в базальтах равно 3,10, в гранитах — 4,71. Это определяет более высокое содержание железа, титана и глинозема в продуктах выветривания основных пород по сравнению с продуктами кислых пород при аналогичном развитии данного процесса.

Благодаря высокому содержанию оснований сильных катионов в базальтах, в начале их выветривания создается щелочная среда, способствующая появлению монтмориллонита. Затем, когда основания вынесены, монтмориллонит, как менее стойкий, чем каолинит, минерал, относительно легко гидролизует, образуя галлуазит и каолинит, а при благоприятных условиях и свободные гидроксиды алюминия. Высокое содержание магния в указанных исходных породах способствует образованию хлоритов и гидрохлоритов, в отличие от гранитов, при выветривании которых прежде возникают гидрослюда, а затем каолинит и т. д.

Показательны в этом отношении ряды стадийного выветривания алюмосиликатов, построенные И. И. Гинзбургом [102]: мусковит → иллит → монотермит → галлуазит → каолинит → гиббсит; плагиоклаз → гидрослюда → каолинит; хлорит → джефферзит → гидрохлорит → монтмориллонит → галлуазит → гиббсит + гидроксиды железа и т. д.

Таким образом, легко объясняется развитие в тропическом климате наиболее мощных латеритных кор преимущественно на габброидах (габбро, диабазах, долеритах), которые в умеренном климате дают обычно монтмориллонитовые, хлорит-монтмориллонитовые и каолинит-монтмориллонитовые коры. Щелочные породы в этих условиях чаще образуют аллитовые и каолинитовые или галлуазит-каолинитовые коры. Для ультраосновных магнезиально-железистых пород характерны латеритные — ферриаллитные (ферриаллитные — охристые) коры, в условиях влажных тропиков достигающие большой мощности.

На основных эффузивах, туфах и туффитах в обстановке жаркого влажного климата легко образуется значительная по мощности гиббситовая кора, а в умеренном климате — каолинитовая

и галлуазитовая с зонами гидрохлорита, гидрослюд и джефферзитов.

В. Н. Разумовой и Н. А. Лисицыной выполнен большой объем исследований кор выветривания различных пород основного состава. В. Н. Разумова в цитируемой выше работе [258] описывает коры выветривания габбро-диабазов, диабазовых порфиритов и амфиболитов Южного Урала, образовавшихся в условиях гумидного климата. Профиль этих кор характеризуется данными табл 3.

Таблица 3

Профиль выветривания пород основного состава
(по В. Н. Разумовой)

	Гиббитоносная кора выветривания		Негиббитоносная кора выветривания	
	Порода	Минералогический состав	Порода	Минералогический состав
Зоны выветривания	Белая глинистая порода (вторично осветленная)	Каолинит, гидрохлорит (каолиноподобный), гиббсит, гидрогематит, лейкоксен	Бесструктурная белёсо-фиолетовая глинистая порода	Каолинит чешуйчатый, гетитовый пигмент
	Пестроцветная глинистая порода	Каолинит (по монтмориллониту), гидрохлорит, гидрогематит, лейкоксен, цеолиты	Малиново-красная глиноподобная порода	Каолинит крипкристиаллический (по монтмориллониту), каолинит волнистый (по ферримонтмориллониту), гетит, лейкоксен
	Темно-зеленая ломкая порода	Монтмориллонит с кальцитом (по плагиоклазу), гидрохлорит, лейкоксен, цеолиты (корродированные)	Зеленовато-серая глиноподобная порода	Монтмориллонит (по плагиоклазу), ферримонтмориллонит (по роговой обманке), нонтронит, гидробиотит, гидрохлорит, лейкоксен
	Дезинтегрированная исходная порода	Плагиоклаз альбитизированный, хлорит, джефферзит (по хлориту), лейкоксен, цеолиты, кальцит		
Исходные породы	Диабазовый порфирит	—	Габбро-диабаз	Лабрадор, авгит, роговая обманка, биотит, хлорит, ильменит

Общая мощность рассматриваемых кор варьировала от 20 до 60 м. Нижняя их зона представлена плотными осветленными или побуревшими породами, сохранившими первоначальный облик, но отличающимися повышенной трещиноватостью. По трещинам наблюдаются бурые железистые пленки. Процесс монтмориллонити-

зации и образования джефферзита, наиболее отчетливо проявляющийся в верхней части зоны, сначала развивается по трещинам, в том числе и микроскопическим, затем захватывает все зерно минерала.

Среднюю зону представляет глинистый элювий зеленовато-бурого и светло-зеленого цвета. В нем хорошо сохранилась структура исходной породы, хотя первичные минералы почти нацело разложены. В шлифах видно, что на месте каждого алюмосиликатного минерала исходной породы возникают псевдоморфозы новых минералов.

Верхнюю зону профиля слагают глинистые породы красного, малинового, сиреневого, фиолетового, белого цвета, иногда также сохранившие первичную структуру. В. Н. Разумова отмечает, что породы верхней зоны образуются в результате перехода в процессе выщелачивания железа ферримонтмориллонита из силикатной в свободную окисную форму. Каолинизация ферримонтмориллонита происходит путем прямого его замещения каолинитом с попутным выделением красного железистого пегматита или с образованием красноцветных промежуточных ферримонтмориллонит-каолининовых продуктов. Гиббсит метасоматически замещает все алюмосиликатные компоненты породы, включая каолинит.

Н. А. Лисицына [184] приводит данные исследования кор выветривания амфиболитов Украинского щита и андезит-авгитовых порфиритов Казахстана. Для первых ею описываются следующие горизонты измененных пород: нижняя зона — каолинистые и монтмориллонитовые глины с примесью гидрослюд и слабоизмененных реликтовых минералов (биотит, эпидот, актинолит, магнетит и др.), мощность 13 м; средняя зона — каолинистая глина с примесью гидрослюд и реликтовых минералов (биотит, магнетит, кварц), мощность 20 м; верхняя зона — каолинистая глина с примесью окислов и гидроокислов железа и гиббсита, мощность 43 м.

При изучении этого профиля Н. А. Лисицыной была установлена последовательность выноса при выветривании главнейших химических элементов. Согласно этой последовательности, основное их количество удаляется из пород в процессе формирования нижней зоны. Из пород более высоких частей профиля выносятся значительно меньше вещества. При этом Н. А. Лисицына [184] делит элементы в зависимости от способности к водной миграции в жарких гумидных условиях на четыре группы: легкоподвижные (Mg, Ca, Mn, Na, K), подвижные (Co, Ni, Cu, Zn, Si), малоподвижные (Cr, V, Zr, P), устойчивые (Fe, Ga, Ti, Al).

В процессе развития выветривания в гумидных условиях изменение пород нижней зоны профиля обусловливается выносом легкоподвижных элементов более чем на 40%. Вынос устойчивых элементов, так же как и кремнезема, в этот период составляет около 30%, а остальных подвижных и малоподвижных элементов — менее 1% от общего количества удаляемого вещества. При образовании продуктов выветривания средней зоны вынос подвижных

элементов сокращается до 27%, устойчивых — до 7%, тогда как вынос кремнезема возрастает, достигая 60%.

При формировании пород верхней зоны вынос почти всех элементов сильно сокращается, в частности на долю легкоподвижных приходится не более 5%, элементы второй и третьей групп составляют доли процента. Только роль кремния возрастает, его доля в суммарном выносе достигает 70—90%.

На основании полученных результатов Н. А. Лисицына приходит к выводу, что при образовании латеритных кор на породах основного состава набор выносимых элементов наиболее разнообразен на ранней стадии выветривания, далее вместе с сокращением количества выносимого материала состав его беднеет; на конечной стадии процесса преобладающим элементом выноса становится кремнезем.

Породы кислого состава (граниты, гнейсы) в гумидных условиях субтропиков образуют преимущественно каолинитовую и галлуазит-каолинитовую коры выветривания, в умеренном климате — гидрослюдистую и каолинит-гидрослюдистую. Описание кор выветривания пород кислого состава (табл. 4) приводится в работах многих авторов, в частности Н. И. Бучинской [46] и Л. П. Смирнова [300].

Рассматривая вопрос о зависимости состава продуктов выветривания от характера субстрата, Н. И. Бучинская [46] отмечает, что собственно каолинитовый профиль развивается на лейкократовых породах кислого состава и имеет незначительную примесь гидрослюды в нижней части. С появлением в составе исходных пород амфиболов продукты выветривания нижней и средней зон профиля становятся существенно галлуазитовыми, а появление пироксена приводит уже к резкому увеличению галлуазита. Кроме того, в коре выветривания пород кислого состава, содержащих значительное количество темноцветных минералов, нижняя и средняя зоны профиля характеризуются существенным обогащением монтмориллонитом. Содержание темноцветных минералов в исходных породах сильно сказывается и на количестве железа в продуктах их выветривания, что особенно важно при использовании каолинов, например, в керамическом производстве.

Г. И. Бушинский [47] указывает, что в профиле кор выветривания на породах кислого состава, так же как на глинистых сланцах, зона каолинита подстилается зоной гидрослюдистых глин, а в тех же условиях на основных породах — зоной бейделлитовых и монтмориллонитовых глин. В зоне тропического климата эти промежуточные образования иногда отсутствуют и исходная порода, как уже отмечалось, непосредственно замещается гиббситом. Однако гиббситовый горизонт в коре выветривания пород кислого состава отличается обычно небольшой мощностью. Здесь необходимо обратить внимание еще на одно обстоятельство, а именно на различную проницаемость пород разной структуры для поверхностных вод и воздуха. Так, проницаемость крупнокристаллических

Минеральный состав продуктов выветривания пород кислого состава, образовавшихся предположительно в условиях субтропического гумидного климата

Кора выветривания на гранитах (по Н. И. Бучинской)	Кора выветривания пегматитов (по Н. И. Бучинской)	Кора выветривания гнейсов (по Л. П. Смирнову)
--	---	---

Зона полуторных окислов, галлуазита и каолинита

Каолинит, галлуазит, кварц, гидрослюда, гидроросль, гетит, гидрогетит, лейкоксен	Каолинит, кварц, гидрослюда, гидробиотит, галлуазит, лейкоксен, гетит, гидрогетит	Гидроокислы железа, мартит, каолинит, галлуазит, гидрослюда, кварц аутигенный, кварц исходных пород, реликты плагиоклазов и акцессорные минералы
--	---	--

Зона каолинитовая или каолинит-галлуазитовая

Каолинит, галлуазит, кварц, гидрослюда, гидроросль, гидробиотит, гетит, гидрогетит, калиевые полевые шпаты, плагиоклазы, лейкоксен, апатит, флюорит	Каолинит, кварц, гидрослюда, гидробиотит, галлуазит, калиевые полевые шпаты, лейкоксен, гетит, гидрогетит, циркон, гранат, апатит	Каолинит, галлуазит, гидрослюда, гидроокислы железа, гематит (мартит), кварц и другие минералы (реликты) исходных пород
---	---	---

Зона гидрослюдисто-каолинитовая

Каолинит, галлуазит, гидрослюда, калиевые полевые шпаты, кварц, плагиоклазы, биотит, гидробиотит, хлорит, ильменит, лейкоксен, апатит, флюорит	Каолинит, кварц, калиевые полевые шпаты, гидрослюда, гидробиотит, гидроросль, опал, карбонаты, гетит, гидрогетит, ильменит, лейкоксен, циркон, гранат, апатит	Гидрослюда, хлорит, галлуазит, каолинит, кварц, селадонит, монтмориллонит, гидроокислы железа, гематит (мартит), пирит, реликтовые минералы — кварц, кислый плагиоклаз, калиевый полевой шпат, биотит, ильменит, акцессорные минералы
--	---	---

Зона дезинтеграции

Калиевые полевые шпаты, плагиоклазы, кварц, биотит, роговая обманка, пироксен, гидробиотит, гидроросль, гидрослюда, каолинит, карбонаты, гетит, гидрогематит, ильменит, апатит, флюорит	Калиевые полевые шпаты, кварц, плагиоклазы, биотит, гидробиотит, ильменит, магнетит, гранат, циркон, апатит	Кварц, полевые шпаты, пироксены, амфиболы, биотиты, гранат, хлорит, антимонит, карбонаты, гидрослюда (серицит), пирит, гидроокислы железа, магнетит
---	---	---

интрузивных пород — гранитов, габбро — обычно выше, чем мелкозернистых, например эффузивных, пород. Это в значительной мере влияет на общую обводненность пород, обуславливает скорость развития выветривания на глубину и создает неодинаковые условия разложения минералов и миграции элементов [102].

При выветривании осадочных пород указанная выше смена по профилю кор минеральных зон обычно намечается слабо. Ясные макроскопические изменения заметны на плотных породах — кварцитах, песчаниках, сланцах, которые образуют щебенчатый материал, а затем переходят в рыхлые продукты разложения. Глины при выветривании меняют цвет, делаясь при гумидном теплом климате в верхней части профиля более светлыми (линялыми), в нижней — ожелезненными, теряют щелочи и щелочные земли. В тропических условиях возможно образование латеритных кор.

В процессе выветривания аркозовых песков, песчаников, алевролитов во влажном теплом климате образуется гидрослюдисто-кварцевый и каолинито-кварцевый материал. Макроскопически это легко улавливается по изменению цвета и структуры пород. Во влажном тропическом климате при благоприятных ландшафтных условиях на песчаниках формируется кварцево-гиббситовый элювий. Это, в частности, наблюдалось В. И. Мамедовым при изучении им кор выветривания Гвинеи. При выветривании обломочных образований также большую роль играет их структура. Наиболее отчетливо влияние ее особенностей наблюдается в том случае, когда выветриванию подвергалась слоистая толща. Изучая результаты выветривания таких толщ, можно видеть резкие изменения, вплоть до каолинизации, наблюдающейся, например, в песках, и почти полное отсутствие следов выветривания в залегающих выше и ниже алевритах и глинистых породах.

Выветривание песчано-галечных отложений наиболее наглядно подчеркивается состоянием крупных обломков, иногда превращенных в глинистую массу. Некоторые разновидности кварцитов, выветриваясь, переходят в маршаллит.

При выветривании обломочных пород, содержащих в цементе соли, гипс, кальцит, доломит, сначала происходит выщелачивание указанных минералов. Затем при благоприятных условиях следует гидролиз их алюмосиликатной части. В отдельных случаях довольно ясно наблюдается зональность образующихся кор. Нижняя зона дезинтеграции и выщелачивания вверх сменяется зонами песков и алевролитов, содержащих глинистые минералы различного состава.

Выветривание карбонатных пород в гумидных условиях также приводит к образованию скоплений рыхлых остаточных продуктов. На разных стадиях этого процесса карбонатные породы претерпевают разнообразные изменения. Для известняков, например, характерны вторичная доломитизация, сидеритизация, окремнение. Часто интенсивно развивается карст. Нерастворимая часть карбонатных пород бывает представлена глинистым веществом, песча-

но-глинистым и алевроитовым материалом, нередко обогащенным фосфатом и рудными компонентами. Дальнейшее выветривание алюмосиликатного остатка в соответствующей климатической обстановке приводит к накоплению глинисто-охристых образований (терра-росса). Карстовые полости, развивающиеся по карбонатным породам в тропическом поясе, местами содержат бокситы.

В нижней части подзоны выветривания рыхлых осадочных пород возникают горизонты цементации — аккумулятивно-гидрохимические формы.

Рассмотренные примеры охватывают только часть всего разнообразия кор выветривания. Для многих пород и для условий разного климата, особенно аридного, они еще слабо изучены и описываются в литературе по данным единичных наблюдений. Основные типы кор указаны в помещенной ниже классификации кор выветривания.

В заключение необходимо подчеркнуть, что в зависимости от особенностей физико-географической обстановки, определяемой, например, условиями различных элементарных ландшафтов, на одинаковых породах могут возникать разные профили выветривания и, наоборот, разнообразные породы субстрата дают сходные коры выветривания. Так, каолинитовая кора может образоваться на породах как кислого, так и основного состава; то же можно сказать об охристом горизонте и т. д. Эти вопросы нуждаются в дальнейшем изучении.

РОЛЬ КЛИМАТА В ОБРАЗОВАНИИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Климат во многом определяет своеобразие гипергенных процессов, особенно протекающих в подзоне выветривания. Известно, что при повышении температуры на 10°C скорость химических реакций увеличивается в 2—2,5 раза. Это относится и к реакциям зоны гипергенеза, в частности к явлениям окисления и гидролиза. Температурный фактор является основным и при физическом разрушении пород.

Не меньшее значение имеет количество атмосферных осадков. Большая масса воды, просачивающейся через горные породы, обуславливает энергичную доставку к ним реагентов выветривания, интенсивное растворение, вынос переходящих в раствор соединений и мелких частиц.

Велико также косвенное влияние климата, действующего через живое вещество. А. И. Перельман [229, с. 128] пишет, что «чем больше создается живого вещества и интенсивнее протекают процессы его разложения, обогащение воды углекислым газом, органическими кислотами и другими соединениями, тем интенсивнее протекают эпигенетические процессы».

Г. И. Бушинский [47] приводит схему зависимости распространения глин разного состава, бокситов, карбонатных и гипсово-соленосных образований от среднегодовой температуры и количе-

ства атмосферных осадков (рис. 8). Это, естественно, находится в тесной связи с типом кор выветривания, развитых в соответствующих климатических зонах. Поясняя схему, Г. И. Бушинский отмечает, что в составе почв, начиная от области развития латеритов в сторону менее влажных и более холодных районов, наблюдается исчезновение минералов свободного глинозема и группы каолинита. Доминирующая роль в этом случае переходит к гидрослюдам, бейделлитам, монтмориллонитам; железистые красные

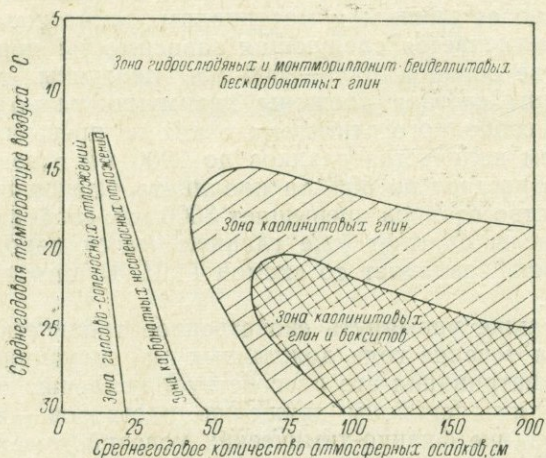


Рис. 8. Схема климатических зон образования минералов глин, бокситов, карбонатных и гипсово-соленосных накоплений в реках, озерах и лагунных водоемах и почвах (по Г. И. Бушинскому)

почвы сменяются серыми и бурыми. При значительном понижении влажности, когда величина испарения приближается к количеству атмосферных осадков и превышает его, появляются карбонаты кальция, сначала в нижних горизонтах почвы, затем и в верхних. При дальнейшем повышении засушливости климата в почве начинают встречаться легкорастворимые соли щелочных металлов.

Максимальной силы химическое выветривание достигает в условиях жаркого гумидного климата. В области современных тропиков, по данным Н. М. Страхова [322] и А. И. Перельмана [230], средняя годовая температура около 25—26°С; среднегодовое количество атмосферных осадков 1200—3000 мм; ежегодный опад органической массы в тропических лесах до 500 т/га. Соответственно верхний горизонт литосферы получает очень большое количество CO₂, гумидных веществ и продуктов их дальнейшего преобразования.

Интересные данные о связи латеритного выветривания с количеством атмосферных осадков приводит Н. А. Лисицына [183]. Так,

в почвах Гавайских островов при среднегодовом количестве осадков 1300 мм и более преобладают каолиновые минералы; там же, где среднегодовые осадки превышают 2000 мм, значительную роль в составе почв играет гиббсит. Аналогичная зависимость наблюдается для почв Израиля: при 400—500 мм осадков в год глинистая фракция почв представлена в основном монтмориллонитом, при повышении количества осадков до 550—700 мм — каолинитом.

Касаясь состава кор выветривания Северного Вьетнама, Гавайских островов, Австралии, Гвинеи, Н. А. Лисицына [183] указывает, что, по ее данным и материалам, заимствованным ею из литературы, намечается следующая зависимость: при среднегодовом количестве осадков 2000—2500 мм продукты выветривания пород основного состава сложены преимущественно каолинитом, а количество свободного глинозема в них не превышает 25—26%. С увеличением количества осадков до 3000 мм в год содержание глинозема возрастает до 50%, а каолинита уменьшается до 20%; когда количество осадков превышает 3000 мм, свободный глинозем и другие окислы слагают уже главную массу породы. В целом эта зависимость совпадает со схемой Г. И. Бушинского, показанной на рис. 8.

Следует также упомянуть свойственное тропическим областям чередование в течение года дождливых и засушливых сезонов. В подзоне выветривания это способствует усилению аэрации в сухое время и интенсивному движению растворов — в дождливое. Такое чередование физико-химических условий имеет большое положительное значение для развития многих гипергенных процессов. Существует ряд объяснений этому явлению. Гаррасович [416] и Фагелер [343] указывают, что усиленный приток вещества в область колебаний грунтовых вод связан с капиллярным поднятием влаги в сухие сезоны. И. П. Герасимов [80], как уже отмечалось, считает наиболее важным результатом действия засухи в толще латеритных образований потерю многими коллоидами подвижности и их закрепление.

Опытами С. С. Ярусова и М. Ф. Соколовой [386] доказано, что периодическое высушивание и увлажнение глин усиливают их способность к разложению. Г. И. Бушинский [47, 49] считает периодичность в количестве осадков основным фактором развития латеритов.

Таким образом, тропические гумидные области с резко меняющимся количеством осадков оказываются наиболее благоприятными для развития латеритного процесса. Мощные латеритные коры с высокой концентрацией минералов свободного глинозема формируются в этих условиях при выветривании прежде всего основных пород.

В гумидных условиях средних широт интенсивность процессов выветривания значительно ниже, чем в зонах тропического климата. Наблюдения показывают, что средняя температура года здесь

2—10°С; количество осадков не превышает 300—700 мм; годовой опад органического вещества в таежно-подзолистой зоне до 2,6 т/га. Все это обуславливает более низкую интенсивность выветривания в умеренной зоне по сравнению с тропической. Концентрация водородных ионов в водах средних широт в шесть раз ниже, чем в водах тропиков [101]. Многие реакции, вызывающие изменение пород, почти полностью прекращаются в зимнее время.

А. И. Перельман [229] преимущественно для низких широт дает следующую классификацию элементов по особенностям гипергенной миграции.

А. Воздушные мигранты

А₁ — активные (образуют химические соединения): О, Н, С, N, J.
А₂ — пассивные (не образуют химических соединений): Ag, Ne, He, Kr, Xe, Rn.

Б. Водные мигранты

- Б₁ — очень подвижные анионы: S, Cl, B, Br.
Б₂ — подвижные: а) катионы — Ca, Na, Mg, Sr, Ra; б) анионы — F.
Б₃ — слабоподвижные: а) катионы — K, Ba, Rb, Li, Be, Cs, Tl; б) миграция преимущественно в анионной форме — Si, P, Sn, As, Ge, Sb.
Б₄ — подвижные и слабоподвижные в окисленной среде и инертные в резко восстановительной среде: а) энергичная миграция в кислых и слабокислых водах окислительной среды и низкая подвижность в нейтральных и щелочных водах (миграция преимущественно в катионной форме) — Zn, Ni, Cu, Pb, Cd, Hg, Ag; б) энергичная миграция и в кислых и в щелочных водах или в щелочных водах более энергичная, чем в кислых (миграция преимущественно в анионной форме) — V, U, Mo, Se, Re.
Б₅ — подвижные и слабоподвижные в восстановительной среде и инертные в окислительной: Fe, Mn, Co.
Б₆ — малоподвижные в большинстве обстановок: а) слабая миграция с образованием химических соединений — Al, Ti, Zr, Cr, TR, Ga, Nb, Th, Sc, Ta, W, Jn, Bi, Te; б) не образуют или почти не образуют химических соединений (самородные металлы) — Os, Pd, Ru, Pt, Au, Rh, Ir.

Приведенная классификация учитывает наиболее распространенные условия среды и температуры, характерные для миграции элементов в зоне жаркого гумидного климата. В иных обстановках имеют место значительные отклонения от этой схемы. Как известно, по-иному происходит движение многих элементов в зонах аридного и холодного климата. В гумидных тропических условиях при формировании латеритных кор выветривания накапливаются Al, Fe, Ti, отчасти Mn. При кислом подзолистом процессе, характерном для климата средних широт, наблюдается более интенсив-

ный вынос указанных элементов и накопление кремнезема в верхнем горизонте профиля выветривания. Это, в частности, обуславливает относительно высокое содержание глинозема и низкую концентрацию кремния в водах зоны умеренного климата по сравнению с водами влажных тропиков.

Особую роль, главным образом для гумидных условий, играет количество и форма нахождения в подзоне выветривания органического вещества. Это связано с его влиянием как на величину рН и Eh среды, так и на формирование органо-минеральных комплексов, что резко меняет подвижность многих элементов.

Важной особенностью нахождения вещества в зоне выветривания является коллоидное состояние. Как уже говорилось, это также в большой степени сказывается на условиях его миграции. Такие элементы, как железо, титан, алюминий, кремний, а также кальций, магний, марганец и многие другие, высвобождаясь при выветривании первичных минералов и промежуточных соединений, образуют золи и гели. Последние в гумидном климате могут переноситься совместно с тонкими частицами исходных пород.

В жарком аридном климате большую активность сохраняют только щелочи, мигрируя при выветривании алюмосиликатных и других пород в сравнительно широких пределах. Из прочих петрогенных элементов относительно подвижными в этих условиях являются кремний и кальций. Некоторое количество их выносятся даже при дефиците атмосферных осадков, значительная же часть выпадает в подзоне выветривания (главным образом благодаря испарительной концентрации), образуя горизонты окремнения и обызвесткования, достигающие иногда большой мощности. Таким путем образуются залежи, известные в пустынях Атакама (Чили), Сахара, Гоби, Мохаве (Калифорния). Алюминий и железо при выветривании в аридном климате малоподвижны, чем объясняется красноцветность элювиальных образований этого типа, сочетающаяся с карбонатностью и гипсоносностью.

В холодном климате подвижность вещества также имеет свою специфику. Продукты выветривания в этих условиях бывают представлены преимущественно глыбовым материалом или мелкоземом, состоящим в основном из частиц малоизмененных исходных пород. Продукты гидролиза силикатов играют незначительную роль. Элювиальные образования, сложенные такими продуктами выветривания, пользуются большим распространением; они создают покровы мощностью до 1 м и более, обычно на приподнятых участках заполярных районов. В несколько более южных широтах, в частности на Алданском щите, материал физической дезинтеграции пород можно наблюдать на склонах и плоских вершинах отдельных возвышенностей. Ниже по их склонам значительно возрастает роль глинистой фракции. В целом коры физического выветривания изучены еще слабо как в смысле закономерностей развития, так и в смысле состава слагающих их продуктов. Срав-

нительно многочисленные, но обычно недостаточно подробные сведения о таких образованиях имеются в материалах геологических съемок и поисков россыпных месторождений. Интересные в этом отношении данные приводит в своей работе А. Г. Черняховский [373].

К сказанному надо добавить, что сведения, изложенные в данном разделе, хотя и имеют общий характер, наиболее полно освещают роль климатов в образовании сравнительно молодых кор выветривания. При изучении таких образований, возникших в палеозое, а тем более в докембрии, необходимо учитывать эволюцию климатов. Это относится к изменениям во времени состава атмосферы, общей температуры поверхности Земли, климатической зональности. Без учета указанных изменений невозможно дать правильной картины развития кор выветривания в различные эпохи, а также установить масштабы и геохимические особенности этого процесса.

ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ВЫВЕТРИВАНИЕ

Тип выветривания, а также его интенсивность и сохранность кор в значительной степени определяются характером тектонических движений. Многие исследователи ограничивают эту зависимость влиянием рельефа поверхности, но действительная роль тектоники значительно шире. Еще недавно считалось общепринятым мнение, что мощные коры выветривания формируются на пепленах в условиях тектонического покоя [93, 150, 232, 242, 324]. Н. М. Страхов [324], например, пишет, что процесс химического выветривания требует, чтобы поверхностные горизонты пород не смывались совсем либо смывались бы в размерах, не препятствующих образованию элювия с выносом всех растворимых соединений, а это возможно только на длительно почти неподвижных равнинах. При возрастании расчлененности рельефа механическая денудация усиливается и смыв начинает опережать химическое выветривание, кора не образуется. С этим можно согласиться только отчасти.

В. Н. Разумова и Н. П. Херасков [259] придерживаются иной точки зрения, полагая, что при тектонической стабильности развития процессов на глубину будет препятствовать высокий уровень грунтовых вод, вызванный влажным климатом и слабым стоком. Мощные коры выветривания, по их мнению, могли формироваться только в пределах поднимающихся плато. Размыв, препятствующий накоплению элювия, в этом случае будет активен лишь в пределах бортовых частей плато. Глубокие долины смогут обеспечить сток поверхностных вод и низкое положение зеркала грунтовых вод в центральной части плато, где эрозия будет незначительной. В подтверждение сказанному авторы ссылаются на данные по корам на породах фундамента Русской, Американской, Австралийской платформ. В этой же работе рассматриваются кай-

нозойские коры выветривания геосинклинальных областей (Филиппинских островов, Малайского архипелага, Вест-Индии, Новой Каледонии); здесь сравнительно мощные и сложные по строению коры формируются в условиях достаточно расчлененного развивающегося рельефа. Аналогичные указания мы находим и у Н. А. Лисицыной [183], описывающей молодые коры выветривания основных пород Северного Вьетнама, Гавайских островов и Австралии. Б. М. Михайлов [210] наблюдал в Гвинее коры выветривания как на плато, так и в районах со сравнительно резким рельефом.

Все это указывает на неясность многих сторон рассматриваемого вопроса, что отчасти объясняется различием и недостаточной изученностью объектов, данные по которым использованы авторами, придерживающимися разных точек зрения. В частности, В. Н. Разумова и Н. П. Херасков, говоря о корях, формирующихся на плато, пользовались материалами исследования древних, включая и дорифейские, образований; Н. А. Лисицына и Б. М. Михайлов описывают коры мезозойского и кайнозойского времени; Н. М. Страхов основывает свои выводы главным образом на материалах изучения молодых кор.

При сопоставлении данных по древним и молодым корам следует учитывать прежде всего меняющиеся в геологической истории общие условия выветривания и малую степень возможной сохранности древних кор от размыва. Рассматривая современное гипсометрическое положение древних кор, необходимо иметь также в виду, что после их образования большая часть районов претерпела поднятия или опускания, амплитуда которых достигает нередко многих сотен метров.

Основываясь на материалах, изложенных в литературе, и результатах личных наблюдений, можно предполагать следующие условия, регулирующие развитие кор выветривания, в первую очередь тех из них, для которых главным процессом является вынос вещества. Такие коры формируются и, по-видимому, достигают большой мощности в пределах структур, находящихся длительное время в состоянии очень вялых тектонических движений, точнее, испытывающих слабые поднятия.

В районах, имеющих благоприятные тектонические условия, процессы выветривания достигают наибольшей интенсивности в зонах, тяготеющих к речным долинам, имеющим высокие борта, и склонам возвышенностей. На водоразделах коры выветривания имеют меньшую мощность и более низкую степень зрелости элювия. Последнее особенно характерно для пониженных участков водоразделов и речных долин (гидроморфные ландшафты), где зона просачивания атмосферных вод и аэрации ограничивается расположенным на небольшой глубине уровнем грунтового потока.

К сказанному следует добавить, что роль тектонических движений и рельефа снижается по мере того, как увеличивается значение климатического фактора. Так, в районах жаркого гумидно-

го климата химическое выветривание развивается энергично не только в условиях пенеппенизированных поверхностей, но и при значительно выраженном рельефе. При этом бурная растительность отчасти задерживает эрозию склонов возвышенностей, способствуя накоплению элювия. Что же касается районов с умеренным климатом, то сравнительно мощные коры выветривания образуются в пределах равнин и плато с относительными превышениями, вероятно, не более 200—300 м.

Помимо формирования рельефа, тектоника влияет на развитие выветривания и в других отношениях. На это указывают, в частности, периодичность и региональный характер процесса формирования кор выветривания, проявляющегося на огромных территориях, построенных по различному структурному плану. Имеющиеся данные указывают на тесную связь этого явления с тектоническими циклами.

По мнению Н. М. Страхова [324] и В. П. Петрова [234], наибольшей интенсивности процесс корообразования достигал в периоды, соответствовавшие затуханию движений земной коры на границе между главными тектоническими циклами, когда происходила общая пенеппенизация рельефа, сглаживание зональности и существенная гумидизация климата. Это определяет положение во времени только общих границ главных эпох корообразования, в частности девон-раннекаменноугольной и триас-раннеюрской, имеющих, по-видимому, планетарное значение. Что же касается кор выветривания в пределах отдельных регионов, то их развитие относится обычно к разным этапам главных эпох и связано с затуханиями колебательных движений, соответствующих циклам последующих порядков [365].

В качестве примера приводим схему развития кор выветривания на Сибирской платформе (рис. 9). Как следует из этого рисунка, возраст мощных кор здесь: поздний триас — ранняя юра, ранний мел, поздний мел — средний палеоген, поздний неоген — раннечетвертичное время. На положение эпох образования кор указывает приуроченность их к высоким частям кривых графика, отвечающим окончанию тектонических циклов второго порядка.

Необходимо также учитывать, что наибольшей мощности и зрелости при прочих равных условиях достигают коры территории тех регионов, окончание геосинклинального периода которых связано с последним тектоническим этапом развития Земли. Это объясняется отчасти тем, что большинство пород этих территорий, главным образом магматических и метаморфических, впервые оказывается на дневной поверхности и относительно легко выветривается.

Наибольшее площадное развитие кор выветривания типично для платформ, а в их пределах для локальных антиклинальных поднятий, отдельных крупных блоков, более мелких форм типа горстов и прочих структур, испытывающих слабые движения положительного знака. В прогибающихся зонах (синеклизы, краевые

прогибы) коры выветривания, как правило, не образуются. Исключением могут служить относительно стабильные участки и местные поднятия внутри депрессий, а также бортовые части последних.

В геосинклинальных областях обстановка для развития кор выветривания в общем менее благоприятная в связи с быстрым

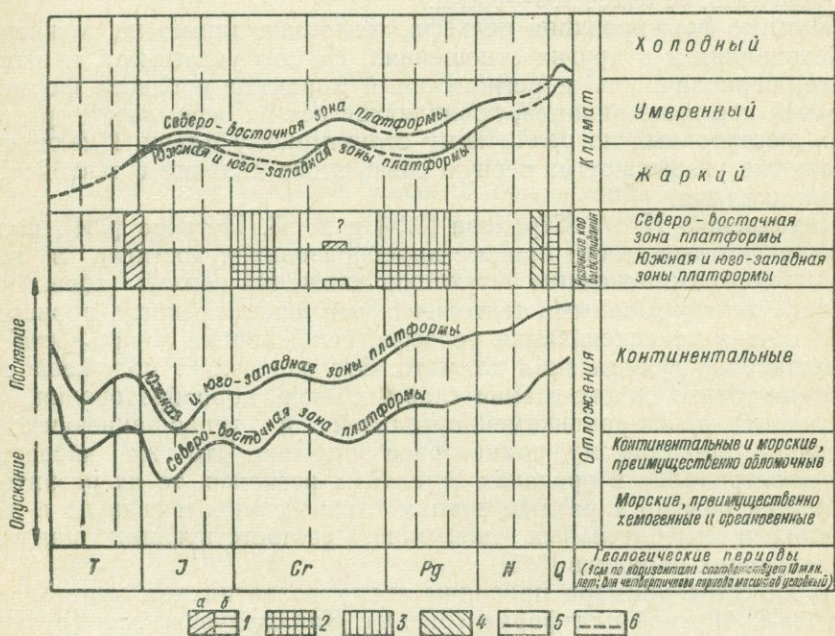


Рис. 9. Основные эпохи развития кор химического выветривания в мезокайнозое на Сибирской платформе (схема)

Кора выветривания: 1 — сиаллитная (а — преимущественно каолинистая; б — преимущественно гидрослюдистая); 2 — латеритная и сиаллитная; 3 — сиаллитная, редко латеритная; 4 — сиаллитная, преимущественно красноцветная. Ширина столбиков показывает длительность эпох корообразования, высота — распространение на площади региона. Климат: 5 — гумидный; 6 — аридный

опусканием территории. Значительные накопления элювия происходят на островах, соответствующих антиклинальным поднятиям, и на сравнительно устойчивых блоках фундамента. Подобное явление характерно для геосинклиналей, находящихся главным образом в зонах тропического и субтропического климата. Примером могут служить коры Малайского архипелага, Северного Вьетнама, Кубы, Новой Каледонии [259, 356 и др.]; в СССР — коры, установленные в Закавказье.

Большое влияние оказывает тектоника непосредственно на развитие процессов выветривания. В данном случае имеется в виду трещиноватость исходных пород, способствующая резкому возрас-

танию доступности последних для проникновения агентов, вызывающих эти процессы.

Многие авторы, рассматривая зональность кор выветривания, склонны объяснять трещиноватость пород нижней зоны профиля преобладающим действием физического выветривания. Это, по-видимому, далеко не всегда отражает действительное положение вещей. Во многих случаях трещиноватость является первичным по отношению к выветриванию признаком.

Роль дробления, связанного с тектоническими движениями, проявляется особенно ярко в выветривании пород зон разломов, по которым образуются линейные коры (трещинный тип, по Ульянову [342]). Понятно, что не все первичные трещины имеют тектоническое происхождение. Часть из них является литогенетическим признаком и связана с условиями образования пород. Таковы, например, трещины столбчатых, шаровых и прочих отдельностей, образующихся в эффузивных породах при их застывании; трещины, возникающие по разделам между слоями разного состава, и т. д. Все трещины в одинаковой степени используются агентами физического и химического выветривания.

Необходимо также отметить относительно малую устойчивость в подзоне выветривания пород, претерпевших изменение под действием динамометаморфизма. К ним должны быть отнесены различные тектонические брекчии и катаклазиты. Наиболее резко влияние катаклаза сказывается на породах, отличающихся большой хрупкостью.

Все это приводит к выводу, что влияние тектоники на выветривание является многосторонним и сказывается не только в региональном развитии кор, но и в характере этого процесса в каждом пункте любой территории.

К сказанному надо добавить, что тектонические условия развития кор выветривания в геологической истории существенно менялись. Выше рассмотрена общая схема корообразования, но наиболее полно она отражает обстановку, типичную для относительно молодых эпох, в первую очередь для второй половины фанерозоя. Для последних характерны дифференцированность движений и относительная контрастность рельефа даже в периоды планации. Что же касается более древних эпох, особенно среднего и раннего докембрия, то для них можно предполагать более длительные отрезки времени, в которые существовали широкие пенеплены. Эти вопросы рассматриваются многими учеными, в частности Л. И. Салопом, Н. М. Страховым, А. В. Сидоренко и др.

СОХРАННОСТЬ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Важными вопросами, возникающими при исследовании кор выветривания прошлых геологических периодов, являются расшифровка условий их сохранности от денудации и выяснение характера эпигенетических изменений элювиальных продуктов. Оба

эти вопроса изучены недостаточно, но они обязательно должны учитываться при определении первоначальной площади распространения и геохимических типов кор, что важно не только для палеогеографических построений, но и для оценки перспектив того или иного района в отношении месторождений экзогенных полезных ископаемых.

СОХРАННОСТЬ КОР ОТ ДЕНУДАЦИИ

Коры выветривания слагаются рыхлым материалом и, будучи расположены в верхней части земной коры, естественно, легко поддаются действию денудации. Исключение составляют ожелезненные коры, горизонты окремнения и т. д. Денудация, несомненно, является одной из главных причин сравнительно редкого присутствия кор выветривания среди образований прошлых геологических периодов. Об их интенсивном размыве говорит и тот факт, что изучаемые коры в подавляющем большинстве случаев не имеют полного профиля.

Выделяемые в настоящее время эпохи интенсивного корообразования были балгоприятны не только для накопления мощных толщ элювия, но и для сохранности их от позднейшего разрушения.

Первое условие, как уже говорилось, наиболее полно удовлетворялось развитием кор в пределах слабо поднимающихся пространств. Во многих регионах подобный вялый режим существовал, по-видимому, на протяжении нескольких геологических периодов и паузы, когда менялся характер колебаний (поднятия сменялись опусканиями), были незначительны по времени и амплитуде движений. Примером такого региона может служить Центральный Казахстан. Здесь широко развиты коры выветривания, сформировавшиеся на протяжении большей части мезозоя и в кайнозое. Они достигают значительной мощности; профиль их нередко искажен в связи с менявшимися климатическими условиями. Распространение кор выветривания в Казахстане подчинено основным денудационным формам существующего рельефа. Наиболее хорошо сохранились коры выветривания в пределах водораздельных пространств, представляющих собой остатки древнего пенеплена. В понижениях рельефа, образовавшихся в результате эрозии, под молодыми отложениями присутствуют только нижние горизонты кор или даже почти не затронутые выветриванием породы.

Однако для большинства регионов, в которых коры выветривания пользуются значительным распространением, характерно периодически наступавшее существенное оживление тектонической деятельности, обуславливавшее возрастание скорости поднятий отдельных участков и даже региона в целом или, наоборот, смену положительных движений значительными опусканиями.

В случае общего поднятия региона резко усиливается деятельность денудационных процессов, приводящая к разрушению кор выветривания предыдущей эпохи. Последние сохраняются в мест-

ных депрессиях, представляющих собой карстовые впадины, зоны дробления, структуры типа грабенов и т. д.

Во втором случае рисуется существенно иное положение. Опускание региона обуславливалось понижением интенсивности распространения процессов выветривания на глубину, но разрушение уже образовавшихся кор осуществлялось в относительно малом масштабе, а местами и вовсе не имело места. Происходило расширение древних и возникновение новых прогибов, тектонических впадин, в пределах которых коры выветривания могли быть перекрыты молодыми осадками и сохранялись от эрозии.

Обращаясь к фактическому материалу по корам выветривания некоторых районов Урала, Русской и Сибирской платформ, видим, что подавляющее большинство кор прошлых геологических периодов здесь располагается именно в депрессиях типа прогибов, представляющих собой участки некогда относительно сглаженных поверхностей; на корях залегает серия трансгрессивно сменяющихся по разрезу осадков, часто угленосных. Иллюстрациями такого положения могут служить, например, раннекаменноугольные коры Подмосковной синеклизы, коры выветривания Орской и Иркутской депрессий, относящиеся к триас-раннелейасовой эпохе, палеогеновые коры Украинской синеклизы и т. д.

Таким образом, оба процесса — формирование и разрушение, с одной стороны, определяют и взаимно усиливают зависимость распространения кор от циклов тектонических движений, а с другой — в значительной степени обуславливают развитие их морфологии и отчасти характер отложений, входящих в формацию данной коры выветривания. Помимо тектоники, сохранность кор зависит также и от других факторов, в числе которых главным является климат.

Интересные данные, говорящие о влиянии неотектоники и климата на формирование, а главное, на степень сохранности продуктов выветривания, приведены в работе С. И. Сергеева [287]. Им обработан материал по сульфидным рудам и составлена карта СССР, на которой выделены области расположения месторождений, в разной степени затронутых выветриванием. Для первого типа таких областей характерны месторождения с не измененными у дневной поверхности рудами. Эти области отличаются интенсивным проявлением неотектоники и преимущественно аридным климатом. Размах новейших вертикальных движений в них достигал 10 км и более. Сюда входят некоторые районы Кавказа, Кавказа, Памира. К территориям, где сульфидные месторождения не изменены, относятся также районы деятельности четвертичного ледника.

Области второго типа отличаются развитием окисленных руд на выходах сульфидных месторождений. Для них характерно умеренное проявление неотектоники; величина вертикальных движений не превышает 700 м, климат преимущественно аридный. К таким областям относятся Южный Урал, хр. Каратау и др.

В областях третьего типа широко развиты железные шляпы сульфидных месторождений. Это характерно для территорий со слабым проявлением новейших движений, находящихся длительное время в условиях гумидного климата. К таким областям относятся Средний Урал, значительная часть Сибирской платформы, Енисейский край.

Из этих данных следует, что в областях, отнесенных С. И. Сергеевым к первому типу, климатические и тектонические условия были неблагоприятны как для развития химического выветривания, так и для сохранения его продуктов, чем объясняется отсутствие в разрезе сульфидных месторождений выветренных горизонтов. В пределах областей третьего типа эти условия сочетались наиболее удачно. Это привело к образованию и способствовало сохранности мощных горизонтов полностью выветренных сульфидных руд и вмещающих пород. Районы второго типа занимали в этом отношении промежуточное положение.

Н. М. Страхов [324], анализируя влияние климата и тектоники на интенсивность выветривания и денудацию, указывает, что возрастание температуры выражается в ускорении выветривания; увеличение же количества осадков, помимо активизации процессов выветривания, ускоряет смыв рыхлого материала. Наблюдения показывают, что если в полосе умеренно влажного климата выветривание и денудация развиваются сравнительно слабо, то во влажных тропиках и субтропиках они резко возрастают. Но влияние на них тектонического режима и рельефа существенно различно. Оптимальные условия для формирования кор выветривания, как уже отмечалось, имеют место на невысоких плато с вялым тектоническим режимом, а денудация достигает наибольшей интенсивности в горных, тектонически активных районах. При этом увеличение расчлененности рельефа усиливает не только механическую денудацию, но в какой-то степени и денудацию химическую, и наоборот.

Н. М. Страхов обращает внимание и на другое весьма важное соотношение в эффективности действия этих процессов. По его данным, химическое выветривание в тропическом климате при равнинном рельефе местности в 20—40 раз интенсивнее, чем в умеренно влажном климате; интенсивность же смыва больше в среднем всего в 5—10 раз. Это объясняет возможность развития на равнинах тропического пояса кор выветривания сиаллитного типа значительной мощности.

В заключение Н. М. Страхов подчеркивает большую изменчивость в пространстве мобилизации вещества, связанной с процессами выветривания, и непосредственную зависимость ее от климата и от характера тектонических движений. На площадях вялого тектонического режима процессы химического выветривания, смыва твердого вещества и миграции растворимых компонентов сильнее всего выражены в тропических областях и согласно ослабевают при переходе от низких широт с высокой температурой и боль-

шим количеством осадков в высокие широты с низкой температурой и малым количеством влаги. Ослабление это максимально сказывается на процессах формирования кор выветривания, меньше — на механическом смыве рыхлых продуктов и еще меньше — на масштабе миграции растворимых компонентов. В областях напряженной тектонической деятельности соотношение иное. Эрозия здесь усиливается настолько, что формирование кор выветривания происходит только на отдельных участках, имеющих особые условия, в других местах оно прекращается.

СКОРОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Одним из важных признаков, определяющих мощность и, по-видимому, отчасти зрелость кор выветривания, является продолжительность эпох их образования. Достаточно надежных данных для установления этой зависимости нет. Имеется, однако, несколько работ, в которых излагаются результаты определения времени формирования современных почв и приводятся примерные расчеты скорости развития кор выветривания прошлых геологических периодов.

Четвертичным почвам посвящены работы С. А. Захарова [139], Н. Н. Соколова [306], П. А. Замятченского [138]. Ранее по этому вопросу высказывались также В. В. Докучаев [129] и К. Д. Глинка [108].

Не имея возможности детально рассмотреть ход рассуждений указанных авторов и оценить применявшиеся ими методы подсчетов, что отчасти сделано В. П. Петровым [234], приведем только основные результаты их исследований. Так, Н. Н. Соколов путем сопоставления данных изучения почв, возникших на старых постройках, морских дюнах, речных и морских террасах с установленным временем образования, приходит к выводу, что уже за 50—100 лет заметно значительное формирование почв, но устойчивой стадии они достигают позднее; этот срок для подзолистых почв определяется в 1000—1500 лет.

П. А. Замятченский, также изучавший почвы на искусственных сооружениях, указывает, что в зависимости от субстрата и условий выветривания скорость роста почв за 100 лет варьирует от 1,2 до 20 см. При этом наибольшая скорость роста относится к почвам, возникшим на рыхлых песчаных породах. Близкие величины получены также В. В. Докучаевым и С. А. Захаровым.

Б. М. Михайлов [210] подсчитал количество кремнезема и окиси кальция, выносимое растениями с 1 м² поверхности земли при лаггеритном выветривании метаморфических пород Гвинеи. На основании этих данных он определил скорость развития почвы — 1 см за 600 лет.

В последние годы опубликованы данные о возрасте почв, полученные путем определения содержания в них изотопа C^{14} . Общую оценку самого метода и указанных данных находим в статье

И. П. Герасимова [81]. Существенно важно, что эти результаты вполне согласуются с выводами, сделанными ранее на основании непосредственного изучения почв. Например, скорость развития почвы на лёссовидном суглинке в Курской области, установленная путем определения изотопа углерода, оказалась равной 1,3—2,0 см за 100 лет.

Попытка рассчитать возможную скорость роста мощности кор выветривания прошлых эпох делалась И. И. Гинзбургом [99], Л. А. Гузовским и А. И. Гавришиным [119]. При расчете они исходили из баланса различных компонентов в подзоне выветривания. И. И. Гинзбург рассчитывал количество воды, требующееся для выноса кремния, высвобождающегося при выветривании алюмосиликатных пород в условиях тропического климата. В результате им были получены цифры, указывающие, что при 3750 мм атмосферных осадков в год на формирование 1 см коры выветривания требуется 300 лет, а при 500 мм осадков — 2200 лет.

Л. А. Гузовский и А. И. Гавришин подсчитали количества кремния, алюминия, железа, кальция и магния, выносимые с единицы площади развития порфиритов при их выветривании в тропических условиях. Полученные результаты позволили авторам прийти к заключению, что для образования мезозойских кор выветривания Южного Урала, где их мощность достигает 30 м, потребовалось около 4—7 млн. лет. Таким образом, цифры, полученные Б. М. Михайловым, И. И. Гинзбургом и Л. А. Гузовским совместно с А. И. Гавришиным, весьма близки.

Если обратиться к материалам по геологии мезозойских и кайнозойских кор выветривания таких регионов, как Сибирская платформа, Центральный Казахстан, Украинский кристаллический массив, то можно видеть, что указанный порядок цифр хорошо увязывается с историей развития этих регионов. Больше того, в ряде случаев наблюдается отчетливая зависимость степени распространения выветривания (мощность кор) от состава и структуры пород субстрата. Все это придает полученным результатам подсчета скорости формирования профиля кор выветривания существенную убедительность.

На основании имеющихся в настоящее время данных, по-видимому, можно сделать следующие предварительные выводы:

1) Почвы, являющиеся верхним, наиболее доступным для агентов выветривания горизонтом кор, формируются во много раз быстрее, чем относительно глубокие горизонты элювиальных образований. Это лишний раз подчеркивает особое положение, которое занимают почвы в составе кор, о чем говорилось ранее.

2) Для образования полного профиля мощных кор выветривания, даже в особо благоприятной обстановке и без учета действия процессов денудации, требуется время, определяемое миллионами лет.

3) Говоря об эпохах корообразования, надо иметь в виду, что их продолжительность может, по-видимому, быть значительно

большой, чем время, необходимое для формирования профиля коры выветривания в отдельных пунктах. Это определяется разнообразием как климатических, так и тектонических и ландшафтных условий. Кроме того, время, необходимое для формирования единицы мощности кор, включая и современные почвы, окажется различным в зависимости от характера пород, подвергавшихся выветриванию.

ЭПИГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Эпигенетические изменения могут происходить на относительно большой глубине при погружении района, когда коры выветривания оказываются в подзоне начального гипергенеза, а затем и в области метаморфизма или вблизи поверхности, когда меняются условия выветривания в связи с изменением климата, рельефа, растительности. По классификации И. И. Гинзбурга [100, 251], измененные коры относятся к «наложенным» или «преобразованным».

При погружении территории изменение продуктов выветривания происходит в результате смены гидрохимических условий, а также под влиянием увеличивающихся с глубиной давления и температуры. Эти изменения достаточно отчетливо характеризуются состоянием глинистых минералов. А. В. Копелиович, А. Г. Коссовская, В. Д. Шутов [162], изучавшие влияние эпигенеза на осадочные породы, считают, например, что следует выделять две стадии этого процесса — начальную и глубинную.

При начальном эпигенезе несколько уменьшается пористость и влагоемкость глинистых пород, но минералогический состав их сохраняется.

В стадии глубинного эпигенеза (в областях затрудненного и весьма затрудненного водообмена) происходит изменение самих глинистых минералов. Возрастающая насыщенность вод разнообразными элементами вызывает развитие сложных обменных реакций и метасоматическое замещение одних минералов другими. Каолинит, галлуазит, монтмориллонит и триоктаэдрическая гидрослюда переходят в диксит, диоктаэдрическую гидрослюда, пирофиллитовидный минерал, затем в серицит и хлорит. Порода теряет пластичность, превращаясь в аргиллит.

Мощность зоны слабоизмененных глинистых минералов меняется в зависимости от гидрохимических условий, тектонического режима, минералогического состава пород. А. В. Копелиович, А. Г. Коссовская, В. Д. Шутов [162] большую роль в этом случае отводят возрасту отложений, определяющему длительность нахождения последних под действием возрастающих температуры и нагрузки вышележащих пород. Согласно данным указанных исследователей, наблюдается как бы миграция зоны слабоизмененных глинистых пород. Установлено, например, что в разрезе неогеновых отложений Апшеронского полуострова мощность этой зоны до-

стигает 5000 м; в толще мезозойских отложений Сибири и Русской платформы она не превышает 2500 м, в палеозойских отложениях Русской платформы снижается до 1700—1300 м.

Изменения продуктов выветривания, связанные с переменной силой развития этого процесса, приводят к карбонатизации, огипсованию, силификации глинистых кор, монтмориллонитизации гидрослюд, каолинизации гиббсита и, наоборот, гиббситизации алюмосиликатов, являющихся образованиями более низких степеней выветривания, и т. д.

Примером силификации могут, по-видимому, служить пеликаниты (смесь вторичных минералов кремнезема и каолинита), широко развитые в Центральном Казахстане и в пределах Украинского кристаллического массива. Многие исследователи рассматривают эти породы как каолинитовую кору выветривания гумидного климата, окремненную в резко аридных условиях [128].

В Средней Азии значительным распространением пользуются триас-раннеюрские каолинитовые коры выветривания. Одной из особенностей этих кор является совместное нахождение в них глинистых минералов, в частности каолинита и гипса. А. И. Перельман [228], изучавший такие коры, объясняет столь необычную минералогическую ассоциацию как результат наложения на коры выветривания, образовавшиеся в гумидных условиях, имевших место в мезозое, эпигенетических процессов аридного климата, установившегося в кайнозое.

К эпигенетическим преобразованиям относится также процесс бейделлитизации мезозойской нонтронитовой коры выветривания серпентинитов Кемпирсайского гипербазитового массива на Южном Урале, описанный В. Н. Разумовой [257]. Этот случай интересен тем, что эпигенетический процесс здесь стимулировался не изменением климата, как в двух описанных выше примерах, а оживлением в олигоцене тектонических движений, вызывавших углубление вреза эрозионной сети района. В начальную стадию углубления ложбин процесс бейделлитизации сосредоточивался на их склонах и шел сплошным фронтом. К этому этапу относится образование бейделлитового элювия на нонтронитизированных серпентинитах и охрах и обесцвечивание бобовых железняков. В дальнейшем, при понижении базисов эрозии и заполнении верховий сети оврагов делювием, процесс приобрел инфильтрационный характер и сопровождался явлениями метасоматоза, выразившись в замещении целых участков мезозойской коры выветривания серпентинитов. В неогене бейделлитизированная кора выветривания, по данным В. Н. Разумовой, деградировала в связи с похолоданием и аридизацией климата.

Большого внимания заслуживает каолинизация гиббсита (деллитизация), являющаяся, по-видимому, достаточно широко распространенным процессом. На это указывают многие советские и зарубежные исследователи [21, 69, 103, 161, 171, 389, 395, 417 и др.].

Гаррисон [417] считает, что каолинит здесь образуется при ре-

акции мелкодисперсного гиббсита с кремнеземом, приносимым растворами. Некоторая часть глинозема при этом выносится водами. Е. Н. Куземкина [171], наблюдавшая результат каолинизации бокситов Тургайского прогиба, указывает, что вторичные образования каолинита приурочены к обесцвеченным горизонтам бокситоносных пород. В начальной стадии процесса происходит замещение каолинитом отдельных участков цемента каменистого боксита или каолинит распространяется по трещинам. Дальнейшее развитие процесса приводит к каолинизации не только цемента, но и бобовин. Происходит обеднение глиноземом породы и исчезновение бобовой структуры.

По данным С. И. Бенеславского [21], наблюдавшего рассматриваемое явление на многих месторождениях, количество эпигенетического каолинита может быть так велико, что боксит превращается в породу преимущественно каолинового состава и теряет свое значение как алюминиевая руда. Это, в частности, имеет место на Северо-Уральском месторождении.

Болдер и Вейтц [395] приводят описание ресилификации диаспора в фэйеркляях Центральной Пенсильвании. Глинозем диаспора, частично высвобождающийся при образовании каолинита, перекристаллизовывается в новообразования диаспора (вторая генерация), отлагающиеся в порах породы. В бокситах нередко наблюдаются также эпигенетические сидеритизация и кальцитизация. Интенсивность обоих видов карбонатизации может быть весьма значительной; в отдельных случаях она приводит к обесцениванию руд.

По мнению многих авторов, эти изменения могут быть связаны не только с привнесом извне дополнительных порций вещества, но и с его перегруппировкой внутри толщи данной породы.

Н. А. Лисицына [185] рассматривает образование вторичных шамозита, сидерита и пирита в мезозойско-кайнозойских корах выветривания и бокситовых породах Казахстана и Урала. Это явление она связывает с редукцией железа, происходящей под влиянием органического вещества. Породы, обогащенные органическим материалом, по данным Н. А. Лисицыной, присутствуют среди бокситовой толщи и перекрывающих ее отложений. При подъеме района воды, фильтрующиеся через породы, богатые органическим веществом, приобретают восстановительные свойства, способствуя переводу железа коры выветривания и бокситовых отложений в закисную форму.

Характерна последовательность выделения в этих условиях вторичных минералов. Первым при воздействии вод, обуславливающих восстановительную реакцию, образуется шамозит, требующий наименьших затрат редуцента и более высоких значений Eh, затем возникает сидерит. Образование пирита происходит при наиболее низких значениях Eh при наличии серы. Он является последним и развит только на отдельных участках главным образом бокситовой толщи.

Существенным является вопрос об изменении кор выветривания под влиянием гидротерм. Г. И. Бушинский изучал этот вопрос на Южно-Уральском месторождении бокситов. Он указывает [47], что эти изменения выразились в превращении гиббсита в бемит и диаспор, а также в обесцвечивании боксита, сопровождавшемся кальцитизацией, каолинизацией и пиритизацией. В результате боксит местами пронизан жилками кальцита, каолинита, содержит пирит, сидерит, редко халькопирит, халькозин, ковеллин, сфалерит и твердый битум. Кальцит и пирит присутствуют и во вмещающих бокситы известняках. Вблизи таких жилков боксит обычно почти обесцвечен и имеет светло-серый, серый или розовато-серый цвет.

По химическому составу обесцвеченный боксит отличается от красного меньшим общим содержанием железа и преобладанием его закисной формы, увеличивающимся содержанием кремнезема, окиси кальция и серы.

Вторым примером гидротермального изменения коры выветривания может служить Куранахское золоторудное месторождение, расположенное в Алданском районе Якутской АССР. Здесь каолининовая кора выветривания триас-раннеюрского возраста покрывает кембрийские породы, залегая на глубине до 40 м под юрскими и более молодыми образованиями. Мощность коры достигает 15—20 м. В меловое время ее продукты были существенно изменены действием термальных растворов, связанных с развитием магматизма. Эти процессы обусловили окремнение материала коры выветривания, его сульфидизацию; с ними связан привнос золота, в результате чего кора выветривания явилась основной продуктивной толщей месторождения (куранахский тип золотого оруденения).

Известны случаи перехода каолина в гидрослюда, причиной чему являлось похолодание климата. Это наблюдалось Г. В. Куликовой и Б. М. Михайловым, например, в корях выветривания неоген-четвертичного возраста, развитых на Дальнем Востоке.

Из приведенных данных видно, сколь многообразны эпигенетические изменения продуктов выветривания, зависящие как от состава последних, так и от характера новых физико-химических условий, в которых протекают эти изменения.

Особо стоит вопрос о метаморфизме кор — процессе, наиболее характерном для докембрийских толщ. Изучение этого явления начато сравнительно недавно, однако полученные к настоящему времени материалы показывают, что глинистые образования кор и переотложенных продуктов выветривания в зоне метаморфизма превращаются в разнообразные кристаллические сланцы, для которых типично преобладание высокоглиноземистых и высокожелезистых минералов (мусковита, пиррофиллита, хлоритоида, дистена, силлиманита, нередко диаспора, корунда и т. д.). Минералы, богатые щелочами и щелочными землями, играют резко подчиненную роль или вовсе отсутствуют.

Кварцевые продукты выветривания преобразуются в песчаники и кварциты, обычно мономинеральные с незначительной примесью неустойчивых к выветриванию компонентов исходных пород.

КЛАССИФИКАЦИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

При разработке предлагаемой классификации мы исходили из представления о выветривании как комплексе гипергенных процессов, которые действуют в приповерхностной оболочке земной коры на все горные породы. В зависимости от геологических, физико-географических условий и характера субстрата образующиеся коры выветривания различаются своей морфологией, мощностью и составом продуктов изменения исходных пород. Все это обуславливает исключительно большое разнообразие кор выветривания, что делает невозможным в настоящее время составление исчерпывающей их классификации. При работе над настоящим разделом мы стремились отразить только общую направленность развивающихся процессов, показать влияние их на внешние особенности, строение и состав наиболее характерных кор и подчеркнуть их роль в распределении месторождений полезных ископаемых.

Ниже рассматриваются коры, образовавшиеся в результате мощного проявления выветривания и представляющие наибольший практический и научный интерес.

При систематике кор выветривания использованы известные классификации, в частности разработанные Б. Б. Польшиным [242] и И. И. Гинзбургом [100], данные по гипергенным минеральным образованиям, в том числе полезным ископаемым, изложенные в трудах С. С. Смирнова [303], А. Г. Бетехтина [27], Н. М. Страхова [319], В. И. Смирнова [299], Г. И. Бушинского [49], А. А. Иванова и Ю. Ф. Левицкого [144] и других исследователей, а также материалы автора.

Деление кор выветривания считаем целесообразным производить, исходя из следующих признаков: строения, морфологии и генезиса.

СТРОЕНИЕ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Строение кор выветривания бывает простым и сложным.

Коры выветривания простого строения представляют собой скопления элювия исходных пород. Они характеризуются сменой вверх по разрезу (без резких границ) пород субстрата зоной промежуточных, а затем конечных продуктов разложения последних. Для них типична постепенная утрата первичных структурных особенностей и минерального состава материнских пород. С вышележащими отложениями коры простого строения имеют, как правило, резкую границу, подчеркиваемую нередко признаками размыва. Такие коры чаще всего образуются на магматических, реже

метаморфических породах, образующихся преимущественно в обстановке умеренного гумидного климата.

Коры выветривания сложного строения характеризуются большим разнообразием. Для них обычен комплекс вторичных образований, включающий остаточные продукты материнских пород, различные проявления инфильтрационных процессов, суффозии, а в ряде случаев и делювиально-элювиальные накопления. Сложные формы наиболее типичны для кор, образующихся на различных породах в условиях жаркого климата и повсеместно при выветривании сильно дислоцированных толщ, сульфидных месторождений и т. д.

МОРФОЛОГИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

По этому признаку, согласно распространенному мнению, выделяются площадные, локальные и линейные коры выветривания.

Площадные коры выветривания образуют более или менее сплошной покров, прослеживающийся на значительных площадях, имеющих обычно сравнительно спокойный рельеф. При однородном составе пород субстрата для них характерна относительно выдержанная мощность и прослеживающаяся в горизонтальном направлении геохимическая зональность. По линиям контактов пород различного состава и зонам тектонических нарушений глубина развития кор резко возрастает. На магматических породах площадные коры чаще имеют простое строение, например большинство первичных каолинов, образовавшихся по гранитам.

Локальные коры выветривания развиваются на породах, характеризующихся малой устойчивостью к действию гипергенных процессов по сравнению с другими, преобладающими породами района, или на участках близкого петрографического состава, но с особо благоприятными условиями выветривания. Форма участков, занимаемых локальными корами, обычно неправильная, определяемая положением пород, сравнительно легко поддающихся выветриванию; иногда такие породы слагают жилы, дайки, что сближает локальные коры с линейными. Примерами локальных кор могут служить также зоны окисления сульфидных месторождений, участки преимущественного развития суффозии, кольматажа и т. д.

Линейные коры выветривания образуют тела, вытянутые по зонам повышенной трещиноватости пород, вызванной тектоническими движениями, или вдоль контактов двух толщ различного состава, особенно известняков с другими породами. Согласно Д. Г. Ульянову и др. [342] и И. И. Гинзбургу [90, 91, 100], первые из них именуются трещинными корами, вторые — линейно-контактовыми. Линейные коры нередко связаны с площадными и представляют собой их нижние части, образующиеся благодаря проникновению агентов выветривания на большую глубину от поверхности по трещинам и вдоль контактов разных пород. Они в разрезе имеют фор-

му языков и карманов; нередко они представляют собой рудные залежи типа жильных образований. Наибольшее распространение линейные коры имеют в складчатых районах. Для них характерно сложное строение, причем зональность распределения пород разной степени изменения прослеживается чаще не в вертикальном разрезе, как это имеет место у большинства площадных кор, а нормально к стенкам трещин или плоскостям контактов.

Размеры линейных кор выветривания весьма разнообразны. Обычно такие коры прослеживаются на сотни метров, иногда длина их достигает нескольких километров; на глубину линейные коры уходят нередко на многие десятки и даже сотни метров от поверхности.

В качестве примеров широкого распространения линейных кор выветривания могут служить Енисейский краж и Центральный Казахстан.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ РАЗНОВИДНОСТИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

В основу предлагаемой классификации положен генезис кор выветривания. Исходя из физико-географических условий, определяющих преобладающий характер выветривания, в первую очередь из особенностей климата, можно выделить три группы кор: химического, физического и смешанного происхождения. Каждая группа включает ряд типов, различающихся между собой своеобразием геохимических процессов, действующих в данной обстановке на исходные горные породы, и степенью изменения последних. Всего выделено одиннадцать таких типов. Они, в свою очередь, делятся на виды в зависимости от общего состава остаточных продуктов и характерных аутигенных минералов, возникающих на последней стадии формирования коры выветривания.

Для каждого типа и вида кор в особых графах классификационной таблицы (табл. 5) указаны исходные породы, продукты, получающиеся при их гипергенном изменении, условия, в которых происходили эти изменения (климат, рельеф, среда), а также полезные ископаемые элювиального и осадочного генезиса, входящие в формацию той или иной коры выветривания. Кроме того, общей классификацией учитываются морфология и строение кор выветривания; эти признаки были описаны выше.

Остановимся несколько подробнее на рассмотрении основных положений, принятых при составлении предлагаемой классификации.

Прежде всего необходимо отметить некоторую условность указанного деления кор выветривания. Любое природное явление, как известно, зависит от многих факторов, действующих параллельно, дополняющих друг друга, и определить точно меру влияния каждого из них обычно невозможно. Это полностью относится к корам выветривания, в частности к оценке роли в их образовании климата, рельефа, состава исходных пород. Слабо изучено влияние сре-

ды на развитие гипергенных процессов и возникновение тех или иных аутигенных минералов.

При составлении классификации принимались во внимание только главные процессы, вызывающие изменение пород субстрата, и основные признаки образующихся элювиальных продуктов, так же как и полезных ископаемых, связанных с корами выветривания. При разделении кор на группы учитывалось, что в некоторых условиях равное значение имеют физические и химические факторы, связанные с выветриванием. Это послужило основанием для выделения переходной группы кор смешанного происхождения.

Из всего многообразия кор выветривания указаны только наиболее распространенные, для характеристики которых имелись материалы хотя бы предварительных исследований.

Основными процессами образования выделенных типов и видов кор выветривания являются: 1) разложение силикатных пород, 2) выщелачивание легкорастворимых минералов, 3) окисление руд и каустобиолитов, 4) удаление вещества в твердом состоянии, 5) аккумуляция вещества, 6) физическое разрушение горных пород.

Для 1, 2 и 6-го процессов характерны коры преимущественно площадного распространения, изучение которых при региональных исследованиях (особенно мелкомасштабных) дает наиболее важные сведения о физико-географических условиях эпох корообразования. Коры, возникающие в результате действия остальных процессов, относятся преимущественно к локальным и линейным.

Для полезных ископаемых намечается важная закономерность. С корами каждого из выделенных в классификации типов и видов связан свой набор полезных ископаемых. Лучшими в этом смысле перспективами отличаются коры, образовавшиеся в результате разложения силикатных магматических и метаморфических пород, а также окисления руд.

Среди кор, связанных с разложением силикатных пород, особо выделяется по этому признаку латеритный тип. В формации последних входят почти все месторождения бокситов, крупнейшие залежи железных, марганцевых руд, многочисленные россыпи ценных минералов, месторождения различных видов нерудного сырья.

Ввиду существующей неопределенности термина «латерит» оговариваемся, что мы под ним подразумеваем продукты выветривания, обогащенные свободными гидратами алюминия, а также железа. В соответствии с преобладающей ролью первого или второго компонента в классификации намечаются гиббситовый и гетит-гематит-гиббситовый минеральные виды латеритных кор. При менее глубоком разложении силикатных пород образуются сиаалитные коры выветривания: моносиалитные, которые характеризуются наличием глинистых минералов с одним кремнекислородным слоем, и бисиаалитные, для которых типичны глинистые минералы с двумя слоями кремнезема. Набор полезных ископаемых для си-

аллитных кор выветривания беднее, чем для латеритных. В частности, исчезают такие важные представители их, как бокситы.

Коры выветривания, образующиеся в результате удаления из различных пород легкорастворимых порообразующих минералов или неустойчивых компонентов цемента, являются весьма распространенными, о чем свидетельствует широта их развития среди четвертичных образований. Но устойчивость таких кор против эрозии невелика, ввиду чего среди древних толщ они встречаются реже. Тип кор выветривания, развивающихся на галогенных и карбонатных породах, назван карстовым. Карст в данном случае понимается как совокупность явлений, связанных с деятельностью атмосферных вод, выражающейся в выщелачивании (вымывании) из горных пород легкорастворимых минералов. В зависимости от содержания таких минералов порода или растворяется почти полностью с образованием карстовых полостей, в которых присутствует небольшое количество нерастворимых минеральных компонентов, или становится более пористой (поры растворения), сохраняя свои текстурные признаки.

Корой выветривания в этих случаях являются существенно измененные исходные породы (структурный элювий) и скопления остаточных продуктов различного состава, представляющих ту или иную часть материнских пород. На известняках, например, в зависимости от их магнезиальности и примеси силикатных минералов образуются скопления доломитовой муки, глинистые или песчаные элювиальные продукты. Принципиально близкая картина наблюдается при выветривании галогенных пород. Что же касается карстовых полостей, то они, будучи генетически тесно связаны с формированием коры выветривания легкорастворимых пород, не являются ее элементами.

Полезные ископаемые, относящиеся к корам, образующимся при выветривании галогенных пород в аридных условиях, представлены преимущественно сульфатами, реже боратами; при выветривании карбонатных пород — мелкодисперсным доломитовым материалом, маршаллитом, в отдельных районах — фосфоритами; при выщелачивании песчаников — песками различного состава, маршаллитом, нередко рудами железа и марганца.

С процессами выветривания связано также образование целебных минеральных источников, снабжающихся водами выщелачивания галогенных отложений.

К корам выветривания, образующимся в результате окисления руд и каоустобиолитов, относятся железные шляпы сульфидных месторождений, шляпы, развивающиеся по карбонатным рудам железа и марганца, мартиновые руды, возникающие по магнетитовым кварцитам, осветленные (обеленные) породы, развивающиеся по пиритизированным песчаникам, сланцам и т. д., скопления сажистого материала, различные кировые скопления и другие образования, связанные с процессами окисления.

В классификации приведены минеральные виды, наиболее характерные для этого типа кор. Помимо них существуют скопления элювиальных продуктов и других генетически близких пород, например карбонатов цинка, свинца и т. д. Не останавливаясь на подробном рассмотрении каждой из разновидностей таких кор, отметим только важную практическую роль процессов, вызывающих окисление руд, приводящих как к обогащению последних, например железистых кварцитов, так и к их разубоживанию. Последнее относится, в частности, к зонам окисления сульфидных месторождений, из которых при окислении выносятся многие ценные элементы.

Несколько более подробно необходимо рассмотреть процесс удаления вещества в твердом состоянии и обратный процесс — аккумуляции вещества. Это характерно для группы кор смешанного генезиса. Как уже указывалось, их образование связано с действием как физических, так и химических факторов.

Большую роль перемещения вещества в твердом состоянии при формировании кор выветривания (суффозии и кольматации) учитывали многие исследователи, в частности И. И. Гинзбург, но самостоятельных разновидностей кор по этому признаку они не выделяли.

Одним из типов кор группы смешанного генезиса является суффозионный. Суффозия в той или иной степени проявляется при образовании и других разновидностей кор, но здесь она играет доминирующую роль, хотя параллельно с механическим выносом вещества происходит растворение отдельных минералов. В зависимости от структуры исходной породы удаляются частицы пелита, алевролита или даже мелкого песка. Это наблюдается обычно в районах гумидного климата.

Действие суффозии во многих случаях является полезным с точки зрения улучшения структуры и состава песков и гравийно-песчаного материала, используемых для строительных целей. Это определяет необходимость тщательного исследования кор рассматриваемого типа, особенно при изучении проявлений выветривания четвертичного времени, в районах проведения поисков строительных материалов.

Следующим типом рассматриваемой группы являются инфильтрационные (аккумулятивно-гидрохемогенные) коры. Они образуются в результате инфильтрации вод преимущественно в песчано-глинистые породы и привноса ими в эти породы сульфатных, хлоридных, карбонатных, нитратных соединений. Этот тип генетически близок к соответствующим разновидностям аккумулятивных кор, намеченных Б. Б. Полюновым [242] и И. И. Гинзбургом [100, 251]. Для своего образования они требуют аридного климата, причем в условиях элювиальных ландшафтов инфильтрация связана главным образом с нисходящим движением растворов, а в ландшафтных условиях, приближающихся к гидроморфному типу, — с нисходящим и восходящим движением растворов.

Промышленную ценность могут представлять образовавшиеся таким путем залежи селитры, гипса, скопления известковых стяжений (каliche) и пластообразные залежи известняков, крупные тела кварцитовидных песчаников, залежи железных и марганцевых руд. Помимо указанных в классификации пяти минеральных разновидностей инфильтрационных кор, известны и другие, связанные с доломитизацией, сидеритизацией, омарганцеванием пород и с некоторыми более редкими изменениями последних. Мы уже отмечали весьма широкое развитие инфильтрации при многих формах выветривания. Как ведущий процесс, позволяющий выделять возникающие образования в самостоятельный вид кор, инфильтрация проявляется сравнительно редко, обычно на небольших участках, и только как исключение имеет региональный характер.

Кольматационный тип кор выветривания отличается от предыдущего тем, что вещество привносится в твердом состоянии — в виде частиц глины, алевролита, редко песка. Процесс пользуется большим распространением в гумидных областях, преимущественно на участках элювиальных ландшафтов, и играет существенную роль, в частности, при формировании структуры песков и песчано-гравийных отложений, меняя их качество как строительных материалов и сырья, используемого в ряде других отраслей промышленности. Следует еще раз подчеркнуть, что аккумулятивные коры выветривания для древних толщ недостаточно характерны из-за плохой устойчивости к процессам денудации и, по-видимому, трудности диагностирования в измененном виде; их широкое развитие обычно связано с проявлением выветривания в четвертичное время.

Группа кор физического выветривания содержит только один тип — обломочный. В зависимости от условий разрушения пород последний включает коры морозного выветривания, характерные для районов с ледовым климатом, и коры термического выветривания, развитые в районах жаркого аридного климата. Как в первой, так и во второй климатической обстановке химические процессы угнетены и при изменении пород у дневной поверхности играют вполне подчиненную роль. Это исключает образование полезных ископаемых, требующих перегруппировки вещества в растворенном состоянии, что необходимо для формирования месторождений большинства руд и нерудного сырья. Даже механическое высвобождение ценных минералов, являющееся главной предпосылкой для образования их промышленных россыпей, затруднено. Все это заставляет рассматривать коры физического выветривания как показатель суровых климатических условий, существование которых предопределяет малую перспективность территории в отношении залежей большинства экзогенных полезных ископаемых. Коры, связанные с аккумуляцией вещества, как и скопления продуктов физического выветривания, среди древних толщ устанавливаются не часто; большую роль они играют в составе кайнозойских, особенно четвертичных, отложений.

В заключение необходимо добавить, что нередко наблюдаются случаи, когда изменения пород происходят под действием комплекса процессов, свойственных различным геохимическим типам. Эти процессы могут действовать параллельно в пределах профиля выветривания, например гидролиз алюмосиликатов или выщелачивание карбонатных пород и инфильтрация тех или иных растворов. В других случаях существует известная последовательность развития этих процессов, и продукты первой стадии выветривания, иногда частично переотложенные, подвергаются эпигенетическому изменению. Все это создает известные трудности при отнесении кор к тому или иному типу и минеральному виду. Такие коры следует рассматривать как комплексные и давать им двойное название, причем определяющим в этом названии должен быть главный процесс изменения пород субстрата.

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ РЕГИОНАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Рассмотрению всей проблемы изучения кор выветривания посвящен первый раздел настоящей работы. Эта проблема весьма обширна. При региональных исследованиях главными являются следующие задачи:

1) установление времени широкого развития мощных кор выветривания, характера их распространения, геологического строения, геохимических особенностей и палеогеографических условий формирования;

2) выяснение генезиса, закономерностей размещения, возможного масштаба месторождений и качества полезных ископаемых, связанных с корой выветривания, а также установление направлений поисков и методов разведки этих месторождений;

3) определение характера и участков нахождения, так же как и выявление вторичных поисковых признаков месторождений некоторых эндогенных полезных ископаемых;

4) получение материалов, важных для разрешения общих региональных геологических вопросов, включая корреляцию разрезов изучаемого региона и уточнение истории его развития, в частности характера тектонических движений.

Исследования, связанные с разрешением указанных основных задач, должны служить общей основой программы регионального изучения кор выветривания. Помимо них имеется ряд вопросов, выяснение которых требует проведения дополнительных исследований. К таким вопросам относятся, например, детальное изучение минералогии и геохимии гипергенных образований, специальное исследование почв в агрономических целях, получение данных по корам выветривания, необходимых в связи с изысканиями для строительства гидротехнических сооружений, получение материалов для выбора направления поисков, разведки и принципа оценки месторождений отдельных видов полезных ископаемых и т. д. Дополнительные исследования выполняются по специальным методикам, которые ниже не рассматриваются.

Основное внимание уделяется вопросам, возникающим у геологов при общем региональном изучении кор выветривания — их картировании. Эти вопросы рассматриваются отдельно, в зависимости от детальности исследований, применительно к масштабам составляемых карт.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ИЗУЧЕННОСТЬ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Коры выветривания прошлых геологических эпох имеют крайне неравномерное, но в общем небольшое распространение. Как следует из изложенного выше, это зависит, с одной стороны, от неравноценности в разных районах условий образования кор выветривания значительной мощности, а с другой — от неустойчивости их по отношению к процессам денудации, что приводит к сравнительно быстрому разрушению при активизации этих процессов. Что же касается погребенных кор, сохраняющихся лучше, то они выявлены еще далеко не полно. Это объясняется сравнительно сложным их диагностированием (особенно при бурении) и недостаточной изученностью геологических разрезов многих районов.

Тем не менее в литературе и неизданных материалах многих организаций в настоящее время имеются сведения о корях выветривания большинства районов территории Советского Союза. Но они, как правило, разнородны и весьма схематичны. Получены эти сведения при выполнении геологосъемочных и различных поисково-разведочных работ, в меньшей степени — в результате специальных исследований указанных образований. Наиболее часто эти данные освещают коры выветривания отдельных пунктов, представляющие непосредственный интерес как месторождения полезных ископаемых. Будучи во многих случаях весьма детальными, такие материалы, однако, не позволяют без дополнительных работ установить с достаточной определенностью как тип происходившего выветривания, так и время его развития. Более полные материалы имеются для тех регионов, в которых пройдены многочисленные выработки при поисках месторождений, связанных с корами выветривания, или где изучение последних производилось специально и сопровождалось составлением соответствующих карт.

К таким территориям относятся, например, Урал и Украинский кристаллический массив; для них составлены карты кор выветривания в масштабе 1:500 000, а в настоящее время картирование ведется в более крупном масштабе. Региональные исследования кор выветривания и составление соответствующих карт и схем проводятся также для Сибирской и Русской платформ, Центрального Казахстана, отдельных районов Дальнего Востока и Средней Азии.

ПРИНЦИПЫ КАРТИРОВАНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Имеющиеся в настоящее время материалы по корам выветривания показывают, что в результате регионального изучения последних должны составляться специальные карты. В зависимости от стоящих перед исследователями задач, геологического строения района и требующейся детальности материалов такие карты составляются в разных масштабах, исходя из различных принципов

и имеют неодинаковый характер нагрузки. Насколько убеждает нас полученный в последние годы опыт, карты кор выветривания могут быть трех типов, а именно: регистрационные, литолого-палеогеографические и литолого-геологические. Регистрационные карты носят обзорный характер и служат для показа пунктов присутствия кор в данном регионе, принадлежности их к тому или иному геохимическому типу и стратиграфическому подразделению. Места, где установлены коры выветривания, показываются в виде внемасштабных знаков или контуров участков установленного развития кор.

Литолого-палеогеографические карты, как указывает само название, должны отражать прежде всего физико-географическую обстановку эпохи интенсивного выветривания, что дает возможность, учитывая фактические материалы, реконструировать картину первоначального распространения кор, установить их типы, характер дальнейших изменений и сделать ряд интересных практических выводов.

Литолого-геологические карты показывают в основном условия залегания, состав и продуктивность в отношении полезных ископаемых существующих в настоящее время кор выветривания, представляющих обычно только небольшую часть площадей их первоначального развития.

Ниже мы более подробно рассмотрим особенности мелкомасштабного и крупномасштабного картирования, существенно различающихся между собой, но являющихся достаточно типичными в отношении как характера разрешаемых задач, так и программы проводимых исследований. Картирования в иных масштабах коснемся только в общих чертах.

ОСОБЕННОСТИ МЕЛКОМАСШТАБНОГО КАРТИРОВАНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Эти работы являются первым этапом изучения в широком плане кор выветривания. Они проводятся с целью предварительного решения указанных выше задач, главным образом для общей оценки перспектив больших территорий в отношении гипергенных полезных ископаемых, для решения основных вопросов региональной геологии и палеогеографии и выбора площадей для проведения более детального изучения кор выветривания. В результате этих исследований составляются мелкомасштабные карты кор выветривания (1 : 1 000 000 и мельче). Масштаб таких карт в зависимости от объема проводимых работ может быть в два раза (а иногда и более) мельче, чем масштаб имеющихся по этому району сводных геологических и геоморфологических карт, используемых в качестве основы для карт кор выветривания. Невозможность составлять более крупномасштабные карты, соответствующие по детальности имеющимся геологическим картам, обуславливается обычно недостаточностью фактического материала по ко-

рам выветривания. Чаще всего эти материалы представляют собой результаты изучения разрезов кор выветривания по относительно редким точкам, расположенным неравномерно на площади региона. Достоверных сведений о наличии или отсутствии кор в промежутках между этими точками обычно нет.

Данные геологических съемок, как правило, очень слабо освещают развитие кор выветривания. Проходить необходимое количество дополнительных выработок, особенно при глубоком залегании кор, не представляется возможным. Все это делает необходимым даже в районах относительно хорошо сохранившихся кор прибегать при построении карт, помимо использования материалов непосредственных наблюдений, к помощи различных косвенных данных, касающихся главным образом физико-географической обстановки и указывающих на возможность возникновения в данном месте мощных кор и их сохранность. Положение особенно усложняется при наличии в разрезе исследуемой территории кор нескольких эпох выветривания. Сказанное определяет целесообразность при мелкомасштабных исследованиях кор выветривания ограничиваться составлением чаще всего литолого-палеогеографических карт раздельно для основных эпох корообразования. Только в редких случаях, при особо благоприятных условиях как в смысле распространения, так и изученности кор выветривания, оказывается возможным построение двух типов мелкомасштабных карт — литолого-палеогеографической и литолого-геологической.

На литолого-палеогеографических картах должны быть показаны следующие данные о времени формирования кор: элементы геоморфологии и климатические зоны, области активной эрозии, площади образования толщ элювия и накопления осадочного материала, основные проявления тектоники, состав пород области выветривания, типы, мощности установленных кор и литология возникавших в эту эпоху отложений, характер эпигенеза, проявления и месторождения полезных ископаемых формации данной коры выветривания.

Очень важным, но часто спорным вопросом, стоящим перед исследователем, является определение возраста кор и, следовательно, выбор стратиграфического уровня, для которого следует составлять литолого-палеогеографическую карту.

В простейшем случае, когда интервал времени между образованием пород, подвергшихся выветриванию, и перекрывающих кору отложений короткий, вопрос решается в зависимости от возраста указанных пород. Решение этого вопроса усложняется при неясной стратиграфии толщи, вмещающей кору выветривания, при большом временном разрыве формирования субстрата и перекрывающих кору отложений или отсутствии последних. При таком положении необходимо базироваться главным образом на данных о тектоническом развитии, палеогеоморфологии региона и составе отложений периода формирования и эрозии изучаемой коры выветривания. Опыт показывает, что при полном учете перечислен-

ных общих данных положительное решение вопроса даже в сложном случае представляется вполне возможным.

Принцип использования указанных данных вытекает из материалов, изложенных ранее. Кроме того, отдельные моменты, касающиеся получения и интерпретации этих данных, освещены в последующих разделах, написанных Д. И. Карстенс и И. В. Васильевым. Здесь же отметим следующее: изучение климата, тектоники и геоморфологии производится в процессе общего изучения геологического строения территории СССР независимо от специального исследования кор выветривания. Для этого, как известно, привлекается разнообразный материал, получаемый разными методами и увязанный на больших площадях. Использование в нашем случае этих общих построений обязательно для каждого района, хотя при полной ясности стратиграфического положения, возраста и геохимического типа кор выветривания они служат только для контроля существующих палеогеографических схем и геологических разрезов (и сами могут уточняться), а при недостаточной полноте данных по корам выветривания являются основными в определении времени и физико-географических условий их формирования.

При использовании данных по истории тектонического развития региона надо иметь в виду прежде всего, что время наиболее мощного формирования кор выветривания и лучшая их сохранность от последующего размыва, как уже указывалось (см. с. 61), обычно соответствуют границе между двумя циклами колебательных движений, моменту окончания регрессий. В такой переходный момент от регрессии к нарастанию трансгрессий физико-географическая обстановка на какой-то период остается стабильной, что облегчает ее расшифровку — установление областей размыва, седиментации и рельефа поверхности суши. Изучение базальных осадков последующей трансгрессии, в состав которых обычно входят переотложенные продукты кор выветривания, позволяет получить дополнительные сведения для суждения о климате, типе кор выветривания и т. п. Единообразие выбора периодов для составления литолого-палеогеографических карт кор выветривания важно еще и потому, что оно упрощает создание сводных карт для обширных площадей.

При проведении работ, связанных с мелкомасштабным картированием, помимо непосредственного изучения кор выветривания, должен выполняться комплекс общих палеогеографических исследований. К ним в первую очередь относится уточнение контуров морских бассейнов и суши, характеристика ее рельефа и слагающих пород, климата, направления движения материала при осадкообразовании. Для решения всех этих вопросов имеются в той или иной степени обоснованные общие методы, освещенные в специальной литературе.

Рельеф суши является важнейшим элементом ландшафта, непосредственно влияющим на развитие кор выветривания и форми-

рование связанных с ними полезных ископаемых. Коры выветривания одного возраста в большинстве районов имеют близкое гипсометрическое положение. Поэтому выявление характера древнего рельефа суши, в частности поверхностей выравнивания, является одной из первостепенных задач, стоящих перед исследователем кор выветривания.

Нередко результаты этих исследований позволяют получить представление о развитии рельефа в тех регионах, где такие перспективные в отношении кор выветривания элементы, как поверхности выравнивания, относящиеся к разному времени, значительно дифференцированы по современному высотному положению. К подобным территориям относится, в частности, Урал. Как показали работы Уральского геологического управления, в этом регионе вполне отчетливо выявляются поверхности выравнивания раннемезозойского, позднемезозойского и палеогенового времени. С ними связаны коры выветривания соответствующего возраста.

Древний погребенный рельеф определяется сменой условий развития кор выветривания или появлением признаков их размыва и накоплением осадков в местных депрессиях, развивавшихся после возникновения кор, неравномерным отложением этих осадков и т. д. Под покровом последних рельеф иногда остается в неизменном виде, но чаще искажается в результате последующих тектонических движений. В этом случае необходимо реконструирование рельефа, что упрощается при сохранившихся корях выветривания, на залегании и составе которых всегда отражаются тектонические движения. Первоначальное положение мощных кор выветривания обычно ограничивается участками сравнительно слабо расчлененного рельефа и реже — пологими склонами возвышенностей. В депрессиях между этими возвышенностями нередко располагаются отложения времени формирования кор. Изучение таких отложений позволяет получить дополнительные сведения о типе выветривания.

Характер погребенного рельефа сколько-нибудь значительных территорий редко удается установить на основании естественных обнажений. Обычно он выявляется в результате сопоставления данных бурения, производящегося на больших площадях при поисках и разведке месторождений угля, россыпей и т. д. В этом случае интерес представляет метод, примененный В. А. Котлуковым для выяснения поверхности Русской платформы нижнекаменноугольного времени [166]. Метод заключается в измерении по вертикали расстояний от палеонтологически охарактеризованного выдержанного горизонта морских отложений до искомой поверхности. Этот метод с успехом применялся И. А. Гимпельсоном и А. С. Корженевской при составлении карты кор выветривания раннего карбона Русской платформы.

Восстановление искаженного эрозией рельефа, как известно, производится исходя из характера отложений, развитых на пло-

щадях, для которых указанная область размыва являлась основным источником сноса обломочного материала.

Методические указания о применении известных методов палеогеоморфологических исследований, связанных с изучением кор выветривания, приведены в разделе, написанном Д. И. Карстенс.

Необходимо отметить, что при мелкомасштабных работах по изучению кор выветривания в большинстве случаев приходится пользоваться уже имеющимися палеогеоморфологическими схемами и только по возможности уточнять их на основании получаемых данных.

Что же касается современного рельефа, то как общую закономерность можно принять, что коры выветривания прошлых периодов, в первую очередь площадные и локальные, присутствуют главным образом в пределах поверхностей с отметками, не превышающими 500—600 м. На более высоких участках, имеющих резко расчлененный рельеф, коры выветривания встречаются редко и относятся преимущественно к линейному типу. Эта закономерность установлена для мезозойско-кайнозойских кор Урала, Томь-Кольванской складчатой зоны, Алтая, Сибирской платформы. Здесь следует, однако, оговориться, что сказанное относится к корам выветривания, формирование которых было приостановлено в результате изменения физико-географических условий, прежде всего климата. В иных случаях, когда условия выветривания остаются близкими и в четвертичное время, что характерно, например, для некоторых районов тропического пояса, площадные коры могут быть встречены на участках с большими высотами, приподнятых обычно в результате неотектонических движений.

На деталях рельефа сказывается развитие карстовых и суффозионных форм. В виде гряд и изолированных холмов фиксируется присутствие кремнистых и железистых инфильтрационных образований, связанных с начальным гипергенезом и выветриванием. Линейные коры нередко подчеркиваются различными мелкими депрессиями (лога, долины речек, промоины), образующимися благодаря более энергичной эрозии рыхлых продуктов выветривания.

К этому следует добавить, что формы рельефа, возникающие благодаря развитию кор выветривания площадного, локального и линейного типов, весьма многообразны. Они обуславливаются различными причинами, в том числе характером пород, подвергающихся разложению, условиями выветривания, молодыми тектоническими движениями и т. д. Существенную роль в выявлении особенностей рельефа, связанного с корообразованием, играют аэрофотосъемочные и геофизические методы.

Одним из кардинальных вопросов рассматриваемых исследований нужно считать установление типа кор, характерного для изучаемого региона или отдельных его частей; не получив правильного представления об этом вопросе, трудно понять действительные условия развития выветривания и оценить реальные перспек-

тивы территории в отношении большинства гипергенных полезных ископаемых.

Наиболее существенным осложнением в этом случае является обычно то, что исследователь не может непосредственно установить, имеет ли он дело с полным или почти полностью развившимся в данных условиях профилем выветривания или же кора была впоследствии сильно размыта. Это осложнение увеличивается, когда разрез изучается по керну буровых скважин. Нередко, например, трудно понять, являются ли дресвяно-щебенчатые и пылевато-дресвяные породы конечными в данной обстановке продуктами физического разрушения горных пород или они представляют собой нижний горизонт коры химического выветривания. Это же относится и к промежуточным зонам профиля, которые могут быть неправильно описаны как конечные при относительно слабом развитии процесса разложения исходных пород.

Не исключаются трудности при отнесении коры к тому или иному морфологическому типу. Здесь надо прежде всего учитывать связь линейных кор с контактами различных пород и с зонами тектонических нарушений. Важным признаком является также направление, по которому происходит смена зон их профиля; для линейных кор характерно горизонтальное или близкое к нему направление.

Неясности в отношении типа кор выветривания необходимо разрешать, базируясь на материалах изучения многих разрезов кор одного возраста, образовавшихся в одинаковых и различных условиях. Весьма существенные дополнительные сведения в этом случае, так же как и при определении возраста кор, может дать детальное исследование состава пород, материалом для образования которых служили продукты кор выветривания, поступавшие в бассейн осадконакопления как в эпоху формирования кор, так и в начальную стадию их размыва. Конечно, всегда очень важно учитывать при решении этого вопроса климат, рельеф изучаемой и смежных территорий, существовавшие в эпоху корообразования.

К сказанному необходимо добавить, что при изучении разрезов кор выветривания большое внимание должно уделяться их эпигенетическим изменениям, без чего бывает невозможно разрешить многие вопросы последующего развития региона.

В процессе проведения рассматриваемых работ, помимо данных исследования кор выветривания значительной мощности, учитываются материалы по связанным с ними известным месторождениям осадочных полезных ископаемых, относящимся к формации коры выветривания той эпохи, для которой составляется карта, а также материалы по мелким проявлениям выветривания, сохранившимся от денудации последующих периодов (зоны окварцевания и ожелёзнения пород, разложение обломков пород в рыхлых отложениях и т. д.). Таким образом, систематизируются и наносятся на карту по возможности все данные, характеризующие условия развития не только самих кор, но и в целом их формаций.

ЛЕГЕНДА ЛИТОЛОГО-ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ
КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Ниже описывается легенда мелкомасштабных литолого-палеогеографических карт кор выветривания. Такие карты должны составляться для отдельных эпох корообразования. Основой для них служат карты с упрощенной географической нагрузкой. На них показываются данные палеогеографии, геологического строения региона эпохи выветривания, материалы, характеризующие коры и места локализации полезных ископаемых. Все эти данные объединяются в четыре группы (рис. 10).

В первую группу входят элементы палеогеографии. К ним относятся: климатическая зональность (границы выделяемых зон и пункты нахождения минеральных и экологических признаков, указывающих на характер климатических условий); области суши и моря; схематическое изображение рельефа (палеогеоморфологическое районирование), элементы гидрографической сети, направления сноса и места накопления осадочного материала, области древних и четвертичных оледенений. Районы различного палеогеоморфологической характеристики обозначаются черными штриховыми знаками или цветными, если это допустимо по условиям издания карты. Остальные элементы палеогеографии показываются черными знаками, а границы — линиями различных цветов.

Ко второй группе относятся сведения, отражающие геологию изучаемой территории в эпоху, для которой составляется литолого-палеогеографическая карта. Выделяются основные структуры, испытывавшие поднятия, где в зависимости от рельефа поверхности (характера элементарного ландшафта) было возможно возникновение различных кор, и опускания, в пределах которых можно предполагать накопление в рассматриваемую эпоху осадочного материала. Показ характера тектонических движений целесообразно по возможности совмещать с палеогеоморфологическим районированием. Состав пород субстрата, согласно предлагаемой легенде, показывается в обобщенном виде. Здесь следует отметить, что, не загромождая легенду излишними знаками, все же следует стремиться выделять породы не только разного состава, но и в различной степени поддающиеся выветриванию и дающие местоорождения тех или иных полезных ископаемых. Обозначаются породы субстрата различными знаками черного цвета, накладываемыми на штриховку геоморфологического районирования; породы эпохи выветривания — цветными знаками (морские — знаками синего цвета, континентальные — знаками красного цвета).

В третью группу объединены данные, характеризующие развитие выветривания в эпоху, для которой составляются карты. Сплошной закраской и сеткой того же цвета на карте показывается распространение основных геохимических типов кор, образующих площадные формы. Коры локального распространения (геохимический тип) показываются буквами латинского алфавита, ко-

торые ставятся у знака пункта наблюдения. К локальным, в частности, относятся коры окисления руд и каустобиолитов, суффозионные, кольматационные.

Минеральные виды кор указываются буквами русского алфавита. Коры линейного типа показываются линиями того же цвета, что и площадные, их минеральный вид также отмечается буквой.

В зависимости от достоверности распространения кор в пределах данной площади выделяются четыре градации: 1) площади, где современное развитие кор выветривания установлено на основании достаточного количества фактических данных; 2) площади, на которых современное нахождение кор доказывается только отдельными разрезами, но, исходя из общих геологических условий, можно предполагать их широкое первоначальное развитие; 3) площади, где образование мощных кор в эпоху, для которой составляется карта, неясно, и можно только предполагать локальное их распространение; 4) площади, на которых, согласно общим данным, коры выветривания сколько-нибудь значительной мощности не образовывались.

Буквенными обозначениями на карте отмечаются также слабые проявления гипергенных процессов, природу которых точно установить во многих случаях не представляется возможным.

В четвертую группу входят данные по месторождениям полезных ископаемых, связанных с корами выветривания. Там, где это возможно, показываются проявления полезных ископаемых.

Месторождения и проявления разделены на остаточные и осадочные. Они показываются различными черными знаками, размер которых для месторождений в 1,5 раза больше, чем для проявлений.

Помимо названных основных групп, для легенды принимается ряд дополнительных обозначений, касающихся главным образом размещения и характера исходного фактического материала.

Совершенно естественно, что рассматриваемая легенда является только схемой, отражающей возможное общее содержание литолого-палеогеографических карт кор выветривания. Она может быть дополнена в зависимости от геологических особенностей района, поставленных задач и характера фактических материалов. Наряду с этим многие ее детали в ряде случаев могут оказаться лишними. В первую очередь последнее относится к типам кор выветривания, приведенным в их значительном многообразии, а также к климату, набору исходных пород, геоморфологическим условиям и т. д. Если же легенда окажется очень сложной, а составляемая по ней карта трудночитаемой, то часть нагрузки можно показать на дополнительной карте. В частности, это может относиться к характеристике климата и геоморфологии.

ОСОБЕННОСТИ КРУПНОМАСШТАБНОГО КАРТИРОВАНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Исследования, связанные с составлением крупномасштабных карт кор выветривания (1 : 50 000—1 : 25 000), существенно отличаются от картирования кор в мелком масштабе. Они проводятся обычно на площадях известного развития кор, выделяемых как перспективные в отношении месторождений гипергенных полезных ископаемых или иных месторождений, судить о которых позволяют поисковые признаки, связанные с корами выветривания. Работа заключается в детальном изучении геологии, закономерностей распространения кор и в подробном изучении продуктов выветривания различных пород. Основной целью исследований этой стадии является предварительная оценка площади в отношении полезных ископаемых, выделение участков для детального картирования кор выветривания и обоснования методики поисков и разведок, а в некоторых случаях и для определения прогнозных запасов полезных ископаемых.

В результате составляется, как правило, литолого-геологическая карта кор. На ней показываются все коры, установленные в районе. Если же по тем или иным причинам это нецелесообразно, то ограничиваются только частью кор, подвергавшихся изучению и представляющих наибольший практический или научный интерес.

При крупномасштабном исследовании естественных обнажений кор выветривания обычно бывает недостаточно для составления карты заданной детальности. Изучение керна ранее пройденных скважин только в редких случаях может компенсировать недостаток имеющегося фактического материала. Это обуславливает необходимость проходить дополнительные выработки. Вопрос упрощается при выполнении рассматриваемых исследований в комплексе с геологической съемкой и поисковыми работами. В процессе изучения кор, помимо материалов бурения и горных выработок, используются данные геофизических, гидрогеологических, нередко геоморфологических и геохимических исследований, что очень важно для получения полной картины развития кор и их минералого-геохимических особенностей. Проведение крупномасштабного картирования как самостоятельной работы возможно только при особо благоприятных геологических условиях, хорошей обнаженности района и наличии сохранившегося каменного материала и первичной документации по проведенным ранее работам. В противном случае карта может быть неполноценной или исследование потребует выполнения дополнительно большого объема горных выработок и бурения.

Крупномасштабные карты кор выветривания составляются на геологической основе. В общем случае они должны отражать площадное распространение кор, их стратиграфию, геоморфологический и геохимический типы, минералогический состав (вид), связь

с современным рельефом и тектоникой, характер вторичных изменений, мощность и степень сохранности, глубину залегания и состав перекрывающих пород, а также соответствие продуктов выветривания требованиям, предъявляемым к полезным ископаемым (общие физико-химические свойства), или концентрацию в них ценных минеральных компонентов.

Детальность тех или иных исследований обуславливается прежде всего необходимостью установить особенности распространения руд или нерудного сырья и направление поисково-разведочных работ. Крупномасштабные литолого-геологические карты кор выветривания желателно сопровождать картами изомощностей кор и палеогеографическими схемами; кроме того, должна составляться карта прогнозирования месторождений соответствующих полезных ископаемых.

Поскольку крупномасштабные литолого-геологические карты кор выветривания призваны служить преимущественно разрешению практических вопросов, то данные, используемые для их составления, должны быть отражены полностью.

Условия образования месторождений полезных ископаемых, так или иначе связанных с корами выветривания, и другие формы проявления гипергенных процессов, важные для решения различных научных и практических вопросов, весьма разнообразны. Поэтому чрезвычайно существенно в каждом отдельном случае в зависимости от типа кор и назначения данных, получаемых при их исследовании, намечать главные вопросы, которые должны разрешаться наиболее глубоко и отражать определенную идею выполняемых работ. Едва ли целесообразно проводить крупномасштабное картирование кор выветривания вообще, без уяснения целевого назначения.

Так, нет необходимости, например, изучать коры аридного или ледового климата, рассчитывая дать положительную оценку территории в отношении бокситов, залежей каолинов или кварцевых песков. Не должен производиться ряд анализов продуктов выветривания пород, заведомо не содержащих элементов, определяемых этими анализами.

Результаты многих видов исследований — геофизических, геоморфологических, геохимических — в разной степени необходимы при проведении крупномасштабных работ с различными целями; в частности, они играют разную роль в зависимости от типа руд или нерудного сырья, в отношении которых оценивается перспективность данного района.

В зависимости от генезиса и строения месторождений, а также от постоянства состава полезного ископаемого проводимые работы должны различаться и по детальности тех или иных видов исследований.

В районах преимущественного распространения элювиальных (остаточных) месторождений: высокоглиноземистых латеритов, первичных каолинов, элювиальных железных, никелевых, марган-

цевых руд и т. д. — основное внимание уделяется оконтуриванию участков развития кор выветривания пород, являющихся благоприятными для образования этих полезных ископаемых, определению сохранности продуктивных горизонтов таких кор, морфологии рудных участков, выявлению закономерностей изменения содержания и формы нахождения полезных компонентов.

Известно, например, что при выветривании ультраосновных пород в остаточных продуктах образуются концентрации окислов железа, никеля и кобальта в форме гидроокисных (железных), гидросиликатных (никелевых) и окисных (кобальтовых) руд. При выветривании силикатных пород кислого состава наиболее часто образуются первичные каолины; выветривание нефелиновых сиенитов способствует обогащению образующихся продуктов редкими землями. Многие щелочные породы несут кору выветривания, богатую титаном и благородными металлами, к корам выветривания карбонатных пород приурочены крупные скопления фосфоритов. При выветривании железистых кварцитов образуются маритовые руды с высоким содержанием железа. Необходимо учитывать также неравномерность в распределении концентраций полезных компонентов по профилю выветривания. Наиболее богатым бывает обычно верхний горизонт профиля (железо, марганец, алюминий), но в некоторых случаях эта роль принадлежит средней части разреза коры выветривания (никель, кобальт, уран).

Весьма существенно бывает выявить связь размещения этих месторождений с тектоническим режимом района и зонами повышенной трещиноватости, а также особенности наложенных процессов и гидрогеологии.

При исследовании кор выветривания, выполняемом для оценки района в отношении месторождений сульфидных руд, вернее зон их окисления, программа работ дополняется комплексом геохимических исследований. Они сочетаются с массовыми химическими и физико-химическими анализами как горных пород, так и вод. По результатам геохимических исследований составляются специальные карты, на которых выделяются районы, поля, участки различной концентрации элементов — рудных индикаторов и возможные эпицентры оруденения. Эти данные позволяют ориентировать последующие поисково-разведочные работы.

Особенности выполнения таких исследований изложены в специальной литературе; одна из сводных работ по этому вопросу принадлежит И. И. Гинзбургу с соавторами [251].

Изучение кор выветривания, проводимое для установления закономерностей размещения связанных с ними месторождений осадочных полезных ископаемых, ставит перед исследователем ряд новых вопросов. Сами коры в этих случаях часто не представляют промышленного интереса из-за низкого содержания полезных компонентов, которое увеличивается до существующих кондиций уже в процессе дифференциации продуктов выветривания, concentra-

ции материала, а часто и «дозревания» его на новом месте. При этих исследованиях важно установить не только распространение и характер кор, но и время, условия их разрушения, особенности переноса и накопления продуктов разложения материнских пород. Таким образом, изучается целый комплекс образований, составляющих формацию коры выветривания.

Для оценки перспектив района в отношении, например, хемогенных руд железа, марганца, отчасти алюминия, меди, ванадия, редких и рассеянных элементов, а также неметаллических полезных ископаемых — вторичных каолинов, кварцевых песков, помимо изучения кор, являющихся для них исходными, обязательно получение данных о палеогеоморфологии района, последующих тектонических движениях и о местах и условиях формирования отложений, возникающих при разрушении кор. В накоплении рудного материала в этом случае важную роль играют карстовые процессы. Часто бывает необходимо решать вопросы стратиграфии возникающих отложений и фациальной их принадлежности.

При проведении исследований в связи с поисками месторождений россыпей и рудных конгломератов особенно важно установить время возникновения развитых в регионе кор, определить их роль в формировании таких месторождений, выделив главную эпоху выветривания, с которой связано образование основного количества рыхлого материала, богатого полезными компонентами. Наличие сохранившейся коры такой эпохи во многих районах служит показателем возможности открытия вблизи от нее залежей богатых обломочных руд.

Необходимо иметь в виду, что представление об образовании россыпей в результате только физического разрушения коренных месторождений не оправдывается. В действительности, как правило, имеет место промежуточная стадия — химическое выветривание пород, обогащенных ценными минералами, в том числе рудных залежей. Общая схема формирования россыпных месторождений, таким образом, включает три основных этапа: образование коренных рудоносных пород, развитие на них кор выветривания с образованием элювиальных россыпей, эрозию последних и накопление на новом месте переносимого материала, содержащего ценные минералы.

При исследовании кор выветривания, связанном с поисками многих осадочных полезных ископаемых, важнейшее значение имеет детальное геоморфологическое изучение междуречий и понижений между останцовыми возвышенностями. Внутренние части междуречий в последнюю очередь захватываются эрозией, и здесь полнее представлены древние поверхности выравнивания. Особого внимания заслуживают имеющиеся в пределах этих поверхностей различные понижения рельефа, включая тектонические депрессии, карстовые воронки, где лучше сохраняются от размыва продукты коры выветривания, а также остатки древней гидрографической сети. В подобных условиях нередко находятся залежи

полезных ископаемых элювиального, озерно-болотного и аллювиального типа, уцелевшие от размыва.

Иногда оказывается необходимым составление карты гипсометрии поверхности коры выветривания, являющейся плотиком для россыпей.

Часто требуется специальное изучение карста, например при поисках месторождений бокситов, залежей некоторых разновидностей фосфоритов и россыпей ценных металлов. В отдельных случаях должно быть обращено особое внимание на развитие таких процессов, как суффозия и кольматация. Это необходимо, в частности, при предполагаемом использовании получаемых результатов для инженерно-геологических целей или для поисков месторождений естественных строительных материалов (песков, гравия и т. д.).

Характер региональных исследований кор выветривания существенно меняется в зависимости от геологических особенностей района. Это относится, конечно, и к работам, связанным с картированием в более мелком масштабе. Однако при крупномасштабных исследованиях геологическая обстановка определяет не только общее направление работ, но и в большей степени методику их и объем вспомогательных операций.

Как уже отмечалось, установлено, что на Урале распределение послепалеозойских кор выветривания различного возраста, а в значительной степени и разного состава тесно связано со ступенями современного рельефа. Это позволило при их картировании и оценке в отношении полезных ископаемых использовать главным образом геоморфологический фактор, подчинив ему программу исследований [118, 288]. Сказанное относится и к отдельным районам Казахстана.

В пределах Енисейского кряжа и прилегающей к нему зоны Сибирской платформы, так же, по-видимому, как и в Прибайкалье, большое развитие имеют мезозойские и кайнозойские коры линейного типа, приуроченные к зонам тектонических нарушений. Площадные же коры сохранились в относительно немногих местах, в частности на участках опущенных блоков вблизи крупных разломов. Такое распределение кор выветривания явилось основанием для использования тектонического развития территории в качестве основного элемента при проектировании поисков полезных ископаемых, связанных с корами выветривания.

Не ставя, однако, перед собой задачи исчерпывающе рассмотреть специализацию исследований кор выветривания в зависимости от геологических условий и необходимости оценки перспектив территории в отношении различных полезных ископаемых, отметим только, что этот весьма важный вопрос еще слабо разработан. Для его решения необходимо получение дополнительных материалов и детальный их анализ.

ЛЕГЕНДА ЛИТОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Что касается содержания и легенды крупномасштабных геолого-литологических карт кор выветривания, то единую их схему дать трудно из-за необходимости в каждом случае, как уже говорилось, решать ряд особых, частных вопросов, обусловливаемых своеобразием геологии района и характером разрешаемых в процессе работы задач. Целесообразно, видимо, здесь ограничиться рассмотрением только общего принципа составления таких карт.

Несомненно, что многие положения этого принципа должны совпадать с таковыми, принятыми для литолого-палеогеографических карт кор (см. рис. 10). Имеются, однако, и существенные различия.

Последнее определяется большей детальностью исследований, а в связи с этим и большей насыщенностью фактическим материалом, необходимостью показывать коры нескольких эпох выветривания, а не одной, как это делается при построении литолого-палеогеографических карт, и особым вниманием, которое уделяется показу геологии кор и их особенностей, важных для решения различных практических вопросов.

В общем случае на карте должны быть отражены элементы геоморфологии, геологическое строение района и изучавшихся кор выветривания, состав, характер перекрывающих образований, особенности самих кор, размещение месторождений и проявлений связанных с ними полезных ископаемых.

Основой для составляемой карты, как уже отмечалось, служит геологическая карта, в значительной степени переработанная. В зависимости от объема фактического материала и сложности специальной нагрузки масштаб основы должен либо соответствовать масштабу окончательного варианта карты кор, либо быть более крупным с учетом возможности уменьшения ее рабочего макета.

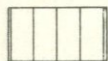
Из геоморфологических и тектонических элементов показываются только те, которые так или иначе определяют распространение, тип и условия залегания кор выветривания различных эпох. К ним могут быть отнесены главные тектонические структуры района и связанные с ними элементы древнего и современного рельефа, денудационные и аккумулятивные поверхности, эрозионные депрессии, линии разрывных нарушений и зоны повышенной трещиноватости, падение пластов в осадочных и метаморфических толщах, микроэлементы рельефа, образовавшиеся в результате размыва локальных и линейных кор, а также развития карстовых и суффозионных процессов. Большое внимание при этом должно быть уделено проявлениям неотектоники, игравшей в ряде случаев важную роль в сохранении кор выветривания и определявшей условия их залегания; на карте особыми знаками показываются новейшие поднятия, направления молодых разломов и т. д.

ЛЕГЕНДА ЛИТОЛОГО-ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Масштаб 1 : 1 000 000 и мельче

(Составлена применительно к району развития кор выветривания области гумидного климата, условно для юрской эпохи) А. М. Цехомский, Д. И. Карстенс

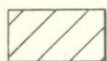
ЭЛЕМЕНТЫ ПАЛЕОГЕОГРАФИИ



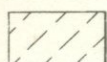
Горы и нагорья

Равнины и плато

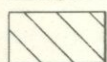
а) Области преимущественного поднятия



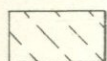
Возвышенная волнистая денудационная равнина и плато на складчатом основании



Низкая слабо расчлененная денудационная равнина на складчатом основании

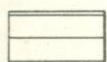


Возвышенная волнистая денудационная равнина и плато на горизонтально залегающих и пологопадающих толщах

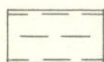


Низкая слабо расчлененная денудационная равнина на горизонтально залегающих и пологопадающих толщах

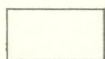
б) Области преимущественного опускания



Аккумулятивная аллювиально-озерная равнина



Аккумулятивная прибрежно-морская равнина



Море



Речные долины



Граница оледенения

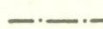
Направление сноса материала



Главное



Местное



Граница климатических зон

Минералы и признаки пород – индикаторы климата



Фосфорит



Уголь



Соль



Гипс и ангидрит



Первичная красноцветность

Экологические группы флоры:



Тропическая растительность



Растительность засушливых областей



Растительность умеренного пояса

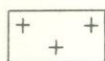


Тундровая растительность

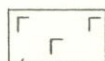
ЛИТОЛОГИЧЕСК

I. Породы субстрата

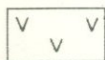
Магматические породы



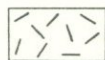
Кислые



Ультраосновные

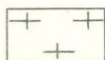


Средние и основные

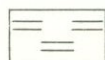


Щелочные

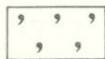
Метаморфические породы



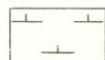
Гнейсы



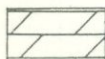
Сланцы высокоглиноземистые (глинистые, слюдяные, силлиманитовые, дистеновые и др.)



Кварциты и кварцито-песчаники

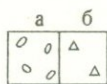


Сланцы основного состава (амфиболитовые, пироксеновые и др.)



Карбонатные породы

Осадочные породы



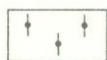
а) Конгломераты, б) брекчии



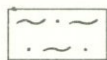
Пески и песчаники кварцевые



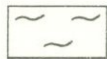
Пески и песчаники полиминеральные



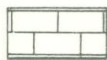
Алевритовые породы



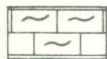
Песчано-глинистые породы



Глинистые породы



Карбонатные породы



Карбонатно-глинистые породы

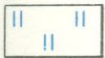
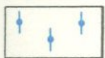


Вулканогенно-осадочные образования

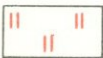
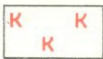
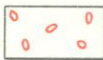
И Е К О М П Л Е К С Ы

II. Отложения эпохи выветривания

Морские



Континентальные



Гравийно-галечно-валунные отложения

Пески кварцевые

Пески полимиктовые

Глины каолиновые

Глины смешанного состава

Алевритовые породы

Кремнистые породы

Карбонатные породы

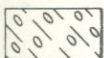
Карбонатно-глинистые породы

Вулканогенно-осадочные образования

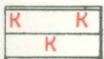
Примеры обозначения состава пород районов с различными типами рельефа



Глины смешанного состава возвышенной волнистой денудационной равнины на складчатом основании



Конгломераты низкой слабо расчлененной денудационной равнины на горизонтально залегающих и пологопадающих толщах



Глины каолиновые аккумулятивной аллювиально-озерной равнины



Морские карбонатно-глинистые породы

КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ⁴⁾

(НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ)

ПЛОЩАДНОГО РАЗВИТИЯ²⁾

Группа	Геохимический тип ¹⁾	Минеральный вид ³⁾	Современное развитие		Образование в юрскую эпоху и сохранность не ясны	Коры выветривания в юрскую эпоху не образовывались
			Установленное	Предполагаемое		
Коры химического выветривания	Латеритный	г - гиббситовый				
		ге-гетит-гематит-гиббситовый				
	Сиаллитный	а - аллофановый				
		к - каолиновый				
		гл-галлуазитовый				
		м - монтмориллонитовый				
		бе-бейделлитовый				
	Сиаллитно-магнезиальный	н - нонtronитовый				
		гх-гидрохлоритовый				
	Сиаллитно-шелочной	ги-гидрослюдистый				
		в - вермикулитовый				
	Выщелоченных галогенных и карбонатных пород (карстовый)	гр-глинисто-хлоридный				
		гс-глинисто-сульфатный				
		гк-глинисто-карбонатно-кальциевый				
		гм-глинисто-карбонатно-магниевый				
Выщелоченных силикатных пород	мш-маршаллитовый					
	пе-песчанитовый					
	ал-алевритовый					
	гн-глинистый					
Коры физического выветривания	Обломочный	—				

ЛОКАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Группа	Геохимический тип	Минеральный вид	
Коры химического выветривания	Окисленных руд q	Окисленных сульфидных руд Fe, Cu, Zn, Pb и др.	ос
		Окисленных карбонатных руд	ка
		Окисленных магнетитовых руд	ом
		Обеленных пород, содержащих сульфиды, не связанные с рудными месторождениями	п





























Примечания: 1. Геохимический тип и минеральный вид кор устанавливаются по продуктам конечного разложения пород

2. Линейные коры показываются линиями: латеритные – красного цвета, сиаллитные – оранжевого цвета

3. Минеральный вид всех кор показывается буквами, поставленными на участках, закрашенных цветом преобладающего геохимического типа, или у внемасштабного знака кор

4. Слабые проявления гипергенных процессов (выветривания и начального гипергенеза) показываются соответствующим индексом: Si – окремнение; Fe – ожелезнение; Ca – карбонатизация; Gі – огипсование

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, СВЯЗАННЫХ С КОРАМИ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Остаточные	Осадочные
 Железные руды	 Железные руды
 Марганцевые руды	 Марганцевые руды
 Никелевые руды	 Никелевые руды
 Алюминиевые руды (латериты)	 Бокситы
 Фосфориты	 Фосфориты
 Каолины первичные	 Каолины вторичные
 Глины тугоплавкие	 Глины огнеупорные
 Пески кварцевые	 Пески кварцевые
 Магнетиты	 Медные руды
 Вермикулиты	 Урановые руды
 Маршаллиты	
	Россыпи:
Концентрации:	 Титановых минералов
 Титановых минералов	 Касситерита
 Касситерита	 Золота
 Золота	 Алмазов
 Алмазов	 Вольфрамита
 Вольфрамита	 Минералов редкоземельных элементов
 Минералов редкоземельных элементов	 Циркона
	 Монацита


Примечания: 1. Проявления полезных ископаемых показываются знаками месторождений, но размер знаков в полтора раза меньше

2. Подробный перечень полезных ископаемых остаточного и осадочного генезиса указан в классификации кор

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

 Линии тектонических нарушений установленные

 Линии тектонических нарушений предполагаемые

 100 Горизонтالي древнего рельефа (в метрах)

 Вулкан

 Кимберлитовая трубка

$\overset{q}{15} \textcircled{\text{ka}} 10,5$

Разрез коры выветривания:

15 – номер разреза (показывается слева от знака разреза)

10,5 – мощность коры выветривания в метрах (показывается справа от знака разреза)

q – геохимический тип коры выветривания локального развития, например окисленных руд (показывается сверху от разреза)

ka – минеральный вид коры выветривания локального развития, например окисленных карбонатных руд (показывается снизу от разреза)

**ОБОЗНАЧЕНИЕ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ
ОБЛАСТИ ГУМИДНОГО КЛИМАТА НА КРУПНОМАСШТАБНЫХ
ЛИТОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ**

КОРЫ ПЛОЩАДНОГО И ЛОКАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ

Группа	Геохимический тип	Зона профиля выветривания (различные стадии разложения пород субстрата)	Современное развитие кор выветривания			
			Открытых или залегающих на незначительной глубине		Залегающих под мощной толщей молодых отложений	
			Установленное	Предполагаемое	Установленное	Предполагаемое
Коры химического выветривания	Латеритный	Конечная стадия				
		Промежуточная стадия				
		Начальная стадия				
	Сиаллитный	Конечная стадия				
		Промежуточная стадия				
		Начальная стадия				
	Сиаллитно-магнезиальный	Конечная стадия				
		Промежуточная стадия				
		Начальная стадия				
	Сиаллитно-щелочной	Конечная стадия				
		Промежуточная стадия				
		Начальная стадия				
	Выщелоченных галогенных и карбонатных пород (карстовый)	Зона активного развития карста				
		Зона начального развития выщелачивания				
	Выщелоченных силикатных пород	Конечная стадия				
		Начальная стадия				
	Окисленных руд	Железная шляпа				
		Зона выщелачивания				
		Окисленные руды				
	Коры физического выветривания	Обломочный				

БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
МИНЕРАЛЬНОГО ВИДА КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ:

- г* – гиббситовый
- ге* – гетит-гематит-гиббситовый
- а* – аллофановый
- к* – каолиновый
- гл* – галлуазитовый
- м* – монтмориллонитовый
- бе* – бейделлитовый
- н* – нонtronитовый
- гх* – гидрохлоритовый
- ги* – гидрослюдистый
- в* – вермикулитовый
- гр* – глинисто-хлоридный
- гс* – глинисто-сульфатный
- гк* – глинисто-карбонатно-кальциевый
- гм* – магниевый
- мш* – маршаллитовый
- пе* – песчаный
- ал* – алевритовый
- гн* – глинистый
- ос* – окисленных сульфидных руд
- ка* – окисленных карбонатных руд
- ом* – окисленных магнетитовых руд
- п* – обеленных пород, содержащих сульфиды

Примечания: 1. Линейные коры показываются линиями: латеритные – красного цвета, сивалитные – оранжевого цвета

2. Возраст кор обозначается общепринятыми индексами

3. Минеральный вид кор показывается строчными буквами русского алфавита

Литология субстрата дается в схематизированном виде; слагающие район породы объединяются в группы не только согласно с принятым в петрографии принципом, но и в зависимости от степени их устойчивости при гипергенных процессах и возможности нахождения полезных ископаемых, образующихся в процессе выветривания. В отдельных случаях, однако, требуется сохранить детальное расчленение некоторых комплексов исходных пород, сообразуясь с особенностями их минерального состава. При этом необходимо учитывать, что такие особенности нередко определяют пригодность продуктов выветривания для использования их промышленности. Показательны в этом отношении первичные каолины, содержание железа в которых определяется главным образом количеством и минеральной формой нахождения железа в исходных породах.

Кроме того, при объединении пород следует считаться со стратиграфией района и не нарушать основные границы, разделяющие комплексы, относящиеся к различным крупным возрастным подразделениям. Все это может создать известную сложность и обусловить некоторую неравномерность группировки пород. Последним приходится пренебрегать, учитывая специфику составленной карты.

Одним из кардинальных вопросов составления крупномасштабных литолого-геологических карт является показ площадного развития кор выветривания и особенностей их залегания. Сравнительно простое решение этого вопроса возможно для районов, где в пределах структур определенного возраста, занимающих особое положение в рельефе, развита кора преимущественно одной эпохи выветривания. На площади смежных структур эта кора или не возникала, или была размыта. При таком положении перекрывающие породы могут быть «сняты» и площади кор полностью оконтурены. Этот случай, как указывалось ранее, характерен для мезозойско-кайнозойских кор Урала.

При большом числе известных в районе кор различного возраста и отсутствии их строгого распределения между структурами иногда целесообразно составление двух карт; на них помещаются коры, близкие по возрасту, развитые в пределах различных участков района.

Независимо от территориального распространения кор и их количества необходимо давать сводную стратиграфическую колонку, в которой отражается положение кор в общем разрезе района и их взаимоотношение с перекрывающими образованиями. В этой колонке указывается также состав последних. Желательно составление геологических разрезов к картам.

Все элементы геоморфологической и общей геологической нагрузки показываются черными знаками и составляют как бы фон для показа кор выветривания. Цветными в этом случае могут быть только горизонталь рельефа и некоторые тектонические знаки, на-

пример линии сбросов. Возраст геологических комплексов показывается общепринятыми индексами также черного цвета.

Коры выветривания следует показывать цветовыми знаками. В этом случае возможны два основных варианта. Принимая первый из них, коры разных эпох выветривания обозначают различными красками, а их типы — буквами. Этот принцип удобнее для тех районов, где развиты и изучаются многочисленные разновозрастные коры, сравнительно близкие по условиям формирования и составу. По второму варианту различными красками обозначают коры отдельных геохимических типов, а общепринятыми буквенными индексами — их возраст. Это удобнее в тех случаях, когда в районе наблюдается значительное разнообразие типов кор при сравнительно небольшом количестве их возрастных подразделений. Нам представляется, что более удачным, способным удовлетворить условиям почти каждого района является второй вариант. Для него дается проект легенды карты кор применительно к территории с геологическим строением средней сложности, на которой развиты коры нескольких типов химического и физического выветривания, образовавшиеся в гумидных условиях (рис. 11). Согласно этой легенде, близкие, но полностью не совпадающие цвета принимаются для кор, залегающих с поверхности или под значительной толщей наносов, и кор, находящихся на глубине под молодыми отложениями сравнительно большой мощности. Сплошная закраска принимается для площадей установленного развития кор, а полосчатая — для площадей предполагаемого распространения. Резко отличные цвета придаются каждому геохимическому типу кор, причем их интенсивность говорит о степени сохранности последних от действия эрозии.

Минеральные виды кор обозначаются буквами русского алфавита, а возраст — стратиграфическими индексами, желательно цветными, в отличие от знаков возраста комплексов вмещающих коры пород. Буквенные обозначения принимаются также для показа признаков слабого проявления гипергенных процессов. Месторождения полезных ископаемых и пункты опорных разрезов показываются знаками, аналогичными принятым для литолого-палеогеографической карты (см. рис. 10). Нередко, однако, приведенные сведения не полностью освещают все вопросы, возникающие при построении литолого-геологических карт кор выветривания, или при полном объеме необходимой нагрузки карта плохо читается и неудобна для работы. В связи с этим можно рекомендовать составление, помимо указанной карты, являющейся основной, также ряда вспомогательных карт и схем. К ним в первую очередь следует отнести карту фактического материала, палеогеографические схемы для наиболее интересных эпох выветривания и карту прогноза месторождений, связанных с корами изучаемого района.

НЕКОТОРЫЕ СООБРАЖЕНИЯ О СРЕДНЕМАСШТАБНОМ И ДЕТАЛЬНОМ КАРТИРОВАНИИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

При среднемасштабном картировании получаемые материалы, в зависимости от особенностей геологического строения района, полноты имеющихся сведений по корам выветривания и объема дополнительных работ, могут быть близкими к результатам мелкомасштабного или крупномасштабного картирования.

Основные задачи среднемасштабного картирования заключаются в общем изучении геологических и минералого-геохимических особенностей кор выветривания, районировании изучаемой территории в отношении перспектив обнаружения связанных с корами полезных ископаемых, определении для последних закономерностей пространственного положения, возможного масштаба месторождений и качества сырья.

Опыт проведения среднемасштабного картирования невелик, но, так же как и крупномасштабное картирование, оно, по-видимому, должно выполняться в качестве самостоятельного исследования или входить в комплекс работ, проводимых при общей геологической съемке. В последнем случае используются данные вспомогательных геофизических, буровых, горных работ, сопровождающие геологическую съемку, и задачи, связанные с изучением кор выветривания, могут быть решены более полно. Если развитые в изучаемом районе коры представляют несомненный практический интерес или имеют большое геологическое значение, то должна составляться литолого-геологическая карта кор выветривания. Если же будет установлено, что коры выветривания развиты незначительно и не имеют в данный момент существенного научного и прикладного значения, то они указываются на геологической карте и на прилагаемых к ней разрезах и сводной колонке.

В тех случаях, когда картирование кор выветривания является самостоятельным исследованием, что наиболее типично, условия работы оказываются менее благоприятными, чем при совмещении работ с общей геологической съемкой. При таком положении в зависимости от полноты имеющихся сведений о геологии района, в частности о корях выветривания, перспективности последних в отношении полезных ископаемых и стоящих перед исследователем задач составляется литолого-палеогеографическая или литолого-геологическая карта и намечаются площади для проведения более детальных исследований. Разрешить задачи с необходимой для данного масштаба полнотой в этом случае возможно только при наличии достаточно подробных данных предыдущих исследований или в результате выполнения большого объема вспомогательных работ.

Детальное картирование кор выветривания является, как известно, элементом поисков и разведок месторождений полезных ископаемых или одним из методов подробного изучения характера изменений состава и структуры пород, обусловленных выветрива-

нием. Основной задачей детальных исследований кор, проводимых в связи с изучением отдельных месторождений или рудных полей, следует считать установление рациональных методов детальных поисков, разведки, принципов промышленной оценки и подсчета запасов рудного и неметаллического сырья.

В зависимости от видов полезных ископаемых и геологических условий их нахождения, а также от характера заданий, вытекающих из необходимости решения других вопросов (строительства, водоснабжения и т. д.), детальное картирование кор выветривания имеет свои особенности, на них и сосредоточивается основное внимание исследователей.

Помимо литолого-геологической карты, на которой показываются основные элементы нагрузки крупномасштабных карт и ряд дополнительных данных, связанных со спецификой задачи исследования, составляются карты изменения мощностей коры выветривания, покрывающих пород, ореолов рассеяния рудных элементов и другие карты и схемы.

Некоторые дополнительные сведения по методике детального картирования кор выветривания при поисках и разведке отдельных полезных ископаемых можно почерпнуть в специальной литературе, касающейся изучения этих ископаемых.

Заканчивая рассмотрение вопроса о типе и нагрузке карт кор выветривания, необходимо оговориться, что во многих случаях важно отображать на них не только сами коры, но и подчиненные им осадочные образования, т. е. давать карты формаций и субформаций кор выветривания. Опыта составления таких карт пока нет. Трудность заключается прежде всего в отсутствии установившегося принципа выделения этих формаций. Учитывая такое положение, сейчас можно предложить только частичное решение задачи и там, где это особенно важно, показывать на картах, составляемых по рассмотренным выше методам, сами коры и отложения, образовавшиеся за счет продуктов выветривания, перенесенных на незначительное расстояние и не потерявших основные черты минерального состава, характерного для кор, являющихся источником этих продуктов.

В дальнейшем должна быть разработана специальная методика составления карт формаций кор выветривания.

ОБЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ КАРТИРОВАНИИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Если условия проведения работ по изучению кор выветривания зависят в большой степени от их детальности, то характер подготовительных операций и полевые наблюдения являются во всех случаях сходными.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Перед началом полевых исследований должны быть систематизированы и предварительно обработаны имеющиеся данные, позволяющие получить хотя бы общее представление об условиях развития и типах кор выветривания. К этим данным в первую очередь относятся непосредственные описания кор, рассеянные в литературе и фондовых материалах. Здесь необходимо обратить внимание на два следующих обстоятельства. Первое заключается в том, что такие сведения могут находиться не только в отчетах по геологической съемке или по специальным исследованиям кор, но и в материалах разведочных работ на руды и нерудное сырье, инженерно-геологических изысканий, геоморфологических, геохимических исследований и т. д. Вторым обстоятельством является необходимость, учитывая широкое региональное проявление процессов корообразования, систематизировать материалы как по району намечаемых работ, так и по смежным территориям. Помимо характеристики самих кор, в предварительную стадию работ должны быть учтены материалы по геологии и тектоническому развитию района, собраны данные по литологии континентальных отложений и перерывам в осадконакоплении, геоморфологии, особенностям климата и другие сведения, влияющие на корообразование. Необходимо систематизировать также данные по различным осадочным толщам, входящим в состав формации кор выветривания, включая и месторождения полезных ископаемых.

Важно использовать имеющиеся палеогеографические карты и схемы. При мелкомасштабных исследованиях существенную роль для предварительных построений может играть «Атлас литолого-палеогеографических карт СССР», составленный в масштабе 1 : 7 500 000, под редакцией А. П. Виноградова. Для средне-, крупномасштабных и детальных исследований необходимы палеогеографические карты более крупного масштаба, составленные в настоящее время для многих районов СССР.

В результате систематизации имеющихся материалов намечается предварительная схема распространения кор выветривания, ориентировочно выделяются их типы, составляется программа и рабочая методика дальнейших исследований.

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из большого комплекса полевых исследований, связанных с региональным изучением кор выветривания, мы коснемся только основных, имеющих ряд специфических особенностей. К ним относятся: а) изучение разрезов кор выветривания, вмещающих пород и относящихся к формации кор выветривания месторождений полезных ископаемых; б) изучение коррелятивных отложений; в) исследования, выполняемые для определения границ распространения кор выветривания. Вопросы направления и методики геохими-

ческих и геоморфологических исследований, связанных с изучением кор выветривания, рассмотрены в последующих разделах настоящей работы.

Изучение разрезов кор и вмещающих их образований

Для изучения разрезов кор и вмещающих их образований используются керн буровых скважин, естественные и искусственные обнажения. Ввиду многообразия и сложности картины изменения пород, происходящего под действием процессов выветривания, и неустойчивости многих древних кор в условиях современной поверхности Земли, предпочтение следует отдавать искусственным обнажениям, особенно наблюдаемым в крупных действующих карьерах, штольнях, траншеях.

При выборе опорных разрезов необходимо иметь в виду, что в настоящее время наиболее полные данные, позволяющие судить о физико-географической обстановке формирования кор выветривания и их геохимических типах, могут быть получены при изучении продуктов разложения магматических алюмосиликатных пород. Поэтому наряду с корами, развитыми на осадочных и метаморфических породах, сульфидных и других рудах, для общей характеристики района желателно иметь разрезы кор выветривания гранитов, диабазов, габбро и т. д.

Следует еще раз подчеркнуть, что видимые в обнажениях или устанавливаемые по керну скважин коры в подавляющем большинстве случаев представляют собой не полный профиль, а только часть горизонтов первоначального разреза коры. Поэтому единичные наблюдения обычно еще недостаточны для установления типа и степени выветривания. Достоверные выводы могут быть сделаны только в результате сопоставления разрезов кор нескольких пунктов района при учете общих особенностей физико-географической обстановки данной эпохи и ландшафтных условий пунктов наблюдения.

Описание разрезов, взятие образцов и проб для исследований производятся преимущественно по зонам коры выветривания. В полевых условиях последние выделяются визуально в зависимости от изменения окраски, текстуры и структуры пород, исходя из минералогического состава, предварительно определяемого также микроскопически. Особенно детально исследуется верхний горизонт зональных профилей кор, сложенный продуктами наибольшего изменения пород субстрата. Он, как уже отмечалось, определяет геохимический тип и минеральный вид коры. Предварительное изучение минералогического состава продуктов выветривания силикатных пород в полевых условиях можно производить с помощью окрашивания. Этот метод, называемый спектрофотометрическим, описан Н. Е. Веденеевой и М. Ф. Викуловой [54]; он широко используется для экспресс-анализа глинистых образований.

Более надежно устанавливается их минералогический состав при микроскопических, электронно-микроскопических исследованиях и с помощью термического и рентгеноструктурного анализов. В смысле точности определений особого внимания заслуживает последний, о чем далее говорится подробно. Здесь же следует отметить, что для массовых определений состава продуктов кор выветривания алюмосиликатных пород в настоящее время используются результаты главным образом термического анализа. Этот метод отличается простотой и, хотя имеет недостаточную точность, доступен большинству геологических организаций, благодаря чему получил широкое применение. В дальнейшем, однако, необходимо внедрять более точный, рентгеноструктурный анализ глинистых образований. Теперь уже он должен обязательно использоваться для контроля определений, полученных другими методами.

В процессе изучения разрезов необходимо характеризовать как первичные изменения пород субстрата, так и эпигенетические изменения самих кор, определять их морфологический тип, степень сохранности от размыва, характер перекрывающих отложений, положение кор в рельефе и отношение к гидрогеологическим уровням.

Перекрывающие отложения наиболее тщательно изучаются в том случае, если они входят в состав формации данной коры выветривания. Обязательно должна быть установлена связь измененных пород с исходными. При этом следует иметь в виду, что основанием для отнесения тех или иных образований к корам выветривания должен служить постепенный их переход в неизменную породу.

Описание разрезов должно сопровождаться зарисовкой обнажения в масштабе, достаточном для показа всех необходимых данных о профиле коры, и, желательно, соответствующими фотографиями. При документации кор по керну буровых скважин приводится колонка по возможности с каротажной диаграммой. На всех зарисовках, колонках и фотографиях должно быть изображено положение границ зон, а также положение и характер границ коры с исходными породами и покрывающими их отложениями. Для наиболее важных разрезов желательно давать геологические и геоморфологические карточки участков и профили, показывающие условия залегания кор, связь с элементами рельефа и взаимоотношение с исходными и перекрывающими породами.

По всей мощности профиля коры выветривания, а также от исходных и перекрывающих пород отбираются образцы (пробы) для микроскопических исследований и анализов. Кроме того, от пород субстрата и их выветренных разновидностей берутся образцы для определения объемного веса и образцы вмещающих пород для палинологических и других исследований, необходимых для уточнения возраста этих пород. Следует учитывать, что объемный вес пород при выщелачивании и гидролизе резко уменьшается, при инфильтрационном процессе — увеличивается.

Необходимо иметь в виду, что наиболее детально изучаются в поле и всесторонне характеризуются результатами лабораторных исследований разрезы кор выветривания, развитых на типичных для района породах, сравнительно хорошо сохранившихся от денудации. По ним дается заключение о времени, типе выветривания и минеральном виде кор, при составлении карт они используются в качестве опорных.

Пробы, отобранные при изучении остальных разрезов, обычно исследуются с меньшей детальностью. В зависимости от состава материнских пород они подвергаются только тем анализам, которые необходимы для определения геохимического типа кор и их практической ценности. Наиболее часто такими анализами являются механический, термический, рентгеноструктурный, спектральный, сокращенный химический.

С целью оценки кор выветривания и осадочных пород, относящихся к формации этих кор, в отношении возможности использования их как полезного ископаемого, помимо образцов и проб, отбираемых в общем порядке, берутся специальные пробы для дополнительных анализов и испытаний. Набор таких испытаний зависит от состава исходных пород и типа выветривания. Так, для характеристики глинистой коры как возможного источника керамического сырья пробы берутся на механические, полные химические анализы и на технологические испытания.

При изучении бокситов используется ряд методов. Способ, разработанный в ВИМСе (Е. К. Копченовой, В. Н. Карюкиной, С. П. Камецким), позволяет быстро получить данные о содержании свободного глинозема, но он применим только при количестве Al_2O_3 более 4—5%. Для ускоренного определения общего содержания глинозема применяется альфа-активационный метод (ВИМС) с использованием прибора «Боксит». Точность этого метода $\pm 2\%$ Al_2O_3 .

Отбираются также специальные пробы охр с целью испытания их пригодности в качестве красок. Содержание ценных минералов (золото, алмазы, ильменит) в элювии и в переотложенных продуктах выветривания устанавливается с помощью шлихового опробования. Пробы большого объема берутся во многих случаях для опытного обогащения продуктов выветривания и оценки их как руд различных металлов и нерудного сырья. Такие пробы, в частности, берутся на месторождениях бокситов для исследования их обогащаемости, а также для выяснения принципиальной схемы возможной переработки бокситовой породы на глинозем и пригодности в иных производствах.

Месторождения полезных ископаемых формации кор выветривания во многих случаях бывают уже так или иначе охарактеризованы данными поисковых и разведочных работ. При таком положении задача геолога, занимающегося региональным изучением кор выветривания, будет заключаться в систематизации и дополнительной обработке имеющихся данных, обследовании месторождения и выполнении контрольных анализов; на неизвестных

ранее месторождениях проводятся комплекс полевых наблюдений, анализы и испытания, необходимые для ориентировочной оценки месторождения.

Помимо разрезов развитых кор, при региональных исследованиях должны выявляться и фиксироваться на картах признаки сколько-нибудь существенного проявления древних гипергенных процессов. Здесь имеются в виду изменения как пород субстрата, так и самих кор выветривания (эпигенетические изменения).

Изучение коррелятивных отложений

Как уже отмечалось, очень важным для определения геохимического типа и возраста кор является изучение осадков времени развития выветривания и отложений, возникших за счет продуктов разрушения кор. Этот прием исследований, широко используемый при сопоставлении разрезов осадочных толщ, в геологической практике известен как метод использования коррелятивных отложений.

В нашем случае изучаются разрезы осадочных образований имеющих в районе депрессий, время прогибания которых совпадало с периодом развития (формирование и размыв) кор выветривания. Наличие в этих разрезах горизонтов, представленных отложениями, обогащенными устойчивыми минералами исходных пород, например кварцем, указывает на то, что размывалась кора химического выветривания; глинистые и другие аутигенные компоненты коры, установленные в составе пород данного разреза, помогают определить ее геохимический тип.

При хорошо разработанной стратиграфии рассматриваемых отложений получаемые сведения представляют большую ценность и для определения времени образования или разрушения кор. Изучение разрезов в указанных целях не представляет чего-либо оригинального, но оно должно производиться с большей тщательностью, так как установление типа, а тем более вида многих кор возможно при наличии минералов-индикаторов, часто плохо выдерживающих транспортировку (например, гиббсит), в силу чего эти минералы в осадках, испытавших значительную переработку, встречаются редко. Во всех случаях важно не ограничиваться изучением одного разреза, а исследовать несколько пересечений, расположенных в характерных местах депрессии по возможности близко к источнику материала — коре выветривания.

Для некоторых районов производился подсчет объема переотложенных продуктов коры выветривания с целью определения мощности последней, уничтоженной эрозией. Полученные цифры в отдельных случаях представляют несомненный интерес.

Следует отметить, что имеющийся опыт использования данных, получаемых при изучении коррелятивных отложений, позволяет рекомендовать этот метод, как один из лучших, для решения мно-

гих вопросов, связанных с региональным изучением кор выветривания.

Важным разделом изучения кор выветривания являются геохимические исследования. С их помощью выявляются условия происходившего выветривания и имевшее при этом место перераспределение элементов и возникновение новых минералов и их комплексов. Особенно велико значение геохимических исследований при нескольких фазах развития кор, происходившего в различных климатических и гидрогеологических условиях. Большие задачи возникают перед исследователями в связи с учетом концентрации и распределения энергии в различных типах и зонах кор выветривания, а также в связи с оценкой миграционной способности возникающих при выветривании новых ассоциаций химических элементов. Для уточнения многих сторон указанных явлений перспективны математические методы, позволяющие количественно оценить выветривание, получить «число и меру» развития геохимических процессов. Рассмотрению этих вопросов посвящены специальные разделы настоящей работы, написанные Б. М. Михайловым и Ю. К. Бурковым совместно с И. А. Гимпельсоном.

Здесь следует отметить, что для определения зрелости элювия (степени изменения пород субстрата) и для выяснения выветренности исходного материала осадочных пород в литературе приводятся многочисленные коэффициенты. Так, И. И. Гинзбург [93, 100] для изучения изменений, происшедших при выветривании магматических и метаморфических пород, предложил коэффициенты выщелачивания, гидратации, окисления, аллитизации, оруденения. Для расчета выветренности пород области питания по обломочному материалу того или иного бассейна осадконакопления в работах В. И. Бгатова и В. П. Казаринова [18], Н. И. Косолюбова [164] и других авторов приводятся коэффициенты выветренности, мономинеральности, палеогеографической и коэффициент геохимической подвижности.

При региональном изучении кор выветривания, связанном с их картированием, вопросам геохимических исследований уделяется, к сожалению, недостаточное внимание. В дальнейшем этот пробел должен быть восполнен.

Определение границ площадей первоначального и современного распространения кор

Эта задача в большинстве случаев является весьма сложной. При мелкомасштабном картировании кор выветривания непосредственно установить их границы удается редко и для соответствующих построений приходится пользоваться имеющимися детальными геологическими и палеогеологическими картами или исходить из общих предпосылок.

Получение материалов для установления границ развития кор значительно доступнее при крупномасштабных и детальных иссле-

дованиях, когда они выполняются совместно с другими геологическими работами и сопровождаются необходимым объемом буровых и горных работ. Приемы определения границ геологических образований, в том числе и кор выветривания, при наличии достаточного количества точек наблюдений общеприняты. Можно только добавить, что для оценки перспектив территории в отношении многих полезных ископаемых недостаточно получения общих контуров кор выветривания, важно знать положение отдельных их видов и зон профиля, что требует дополнительных данных, позволяющих выяснить характер субстрата, строение кор полного профиля, степень их размыва и эпигенетические изменения вещественного состава. Особенно тщательно, с применением горных выработок и скважин, все эти детали должны устанавливаться при прослеживании границ распространения кор выветривания, с которыми связаны месторождения полезных ископаемых.

Необходимо учитывать, что коры выветривания площадного типа в целом и отдельные их горизонты в районах, где позднейшая тектоника проявлялась слабо, имеют обычно близкое к горизонтальному залегание. Поэтому границы их распространения, как правило, секут горизонтальную дневную поверхность под очень острым углом или даже совпадают с ними. Эта особенность установлена для мезозойских и кайнозойских кор выветривания Казахстана [361], протерозойских кор Анабарского массива и кор некоторых других районов.

Из специальных полевых исследований, позволяющих выделить границы распространения кор выветривания при недостаточности их обнажений, помимо горных выработок и буровых скважин, наиболее интересными в настоящее время следует считать геофизические методы.

Опыт применения геофизических методов для рассматриваемых целей показывает их безусловную эффективность. Это определяется существенным отличием физических свойств (электрических, магнитных, гравитационных, радиоактивных) продуктов выветривания от указанных свойств подавляющего большинства пород субстрата, а во многих случаях и осадочных пород, перекрывающих коры выветривания. А. Н. Фокин, Г. А. Семенова, А. С. Милыев [354], суммируя результаты крупномасштабного картирования кор выветривания, проводившегося в связи с поисками рудных месторождений, приходят к выводу, что сиаллитная (каолинитовая) кора выветривания отличается от вышележащих рыхлых осадочных образований и кристаллических пород складчатого основания пониженной радиоактивностью, низкой магнитной восприимчивостью, минимальными электрическим сопротивлением и плотностью. При этом разница в величине перечисленных констант настолько значительна, что позволила авторам рекомендовать широкое использование комплекса геофизических методов при крупномасштабном картировании кор выветривания.

К аналогичным выводам приходят С. А. Архангельский, Е. П. Лашков, В. А. Тарасов, проводившие опытные геофизические работы в Центральном Казахстане на площадях развития сиаллитных кор выветривания, перекрытых рыхлыми отложениями значительной мощности. В качестве основных ими использовались методы электротондирования и микросейсморазведки. Были получены положительные результаты.

Интересные материалы по применению геофизических методов при крупномасштабном картировании районов развития кор выветривания получены на Урале [329, 338]. Установлено, что гравиразведка дает возможность в отдельных случаях получить четкую границу зоны распространения глинистой коры не только со свежими породами, но и со щебенчатым элювием. Магнитная восприимчивость пород зоны дезинтеграции сиаллитных кор и субстрата аналогична, глинистые же образования, как правило, немагнитны. Это помогает не только оконтуривать участки развития кор, но в отдельных случаях и дифференцировать их по зонам. Сейсмические методы позволяют определять поверхности кровли глинистой коры выветривания.

Во многих районах геофизические исследования успешно выполнялись при поисках залежей полезных ископаемых, связанных с корами выветривания, в частности месторождений силикатного никеля [12, 345], богатых руд железа [223], элювиальных россыпей алмазов [197], залежей бокситов, первичных каолинов, месторождений марганцевых руд и т. д. Весьма важны результаты геофизических исследований для обнаружения залежей различных полезных ископаемых, связанных с линейными корами выветривания, развитыми по контактам пород разного состава и зонам тектонических нарушений. Специальные работы по усовершенствованию методики геофизических исследований при поисках месторождений силикатного никеля в корях выветривания проводились Всесоюзным институтом разведочной геофизики. Результаты этих работ показали, что для решения таких задач должен применяться комплекс методов, наиболее часто — магнитная съемка в сочетании с электроразведкой.

В самые последние годы разработан новый аэрогаммаспектрометрический метод поисков бокситовых залежей. Они выделяются по аномальному значению торий-калиевого отношения. Метод проверен на ряде объектов в Красноярском крае, получены весьма обнадеживающие данные.

Как следует из приведенных сведений, геофизические методы могут широко использоваться для выяснения различных вопросов, возникающих как при оконтуривании площадей развития кор выветривания, так и при поисках месторождений, относящихся к формации кор полезных ископаемых. Наиболее целесообразно их применять в процессе детальных исследований; при мелкомасштабных работах диапазон использования данных геофизических методов пока менее ясен. Несомненно, однако, что в этих случаях большое

значение они имеют при выявлении картины погребенного рельефа и тектонических элементов.

Перспективными для изучения кор выветривания следует считать также аэрометоды. Пока еще они не нашли широкого применения в комплексе этих исследований. До последнего времени их роль ограничивалась получением косвенных данных, показывающих особенности геоморфологии, в частности поверхности выравнивания, тектонические разломы и контакты между различными породами. Во многих районах, как известно, эти зоны являются особо благоприятными для развития кор выветривания. Имеются указания на возможность обнаружения глинистых кор выветривания по типу растительности, хорошо наблюдаемому на аэрофотоснимках. Дешифрируются скопления молодого элювия физического выветривания монолитных пород, представленного глыбовым материалом. Вопрос о возможности более широкого применения аэрометодов при региональных исследованиях кор выветривания нуждается в дальнейшем изучении.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ КАРТИРОВАНИИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Всеми исследователями кор выветривания отмечается тесная связь их формирования с рельефом. Еще Б. Б. Польшин [242] указывал, что коры выветривания являются ключом для восстановления древнего рельефа. По-видимому, закономерна и обратная зависимость. Анализ геоморфологических условий и реконструкция древнего рельефа изучаемой территории могут способствовать установлению времени формирования кор выветривания и мест вероятного их обнаружения.

Изучение истории развития рельефа дает возможность определить также степень сохранности кор, условия их размыва и наметить направления сноса продуктов выветривания и места накопления последних. Все это важно для оценки перспектив исследуемой территории в отношении ряда полезных ископаемых и для выбора направления поисков их месторождений.

Большое значение имеет решение вопроса о древнем рельефе, в частности, для выявления закономерностей строения и размещения россыпных полезных ископаемых [141]. Прежде чем перейти к описанию методики изучения древнего рельефа, следует пояснить, какое содержание вкладывается в это понятие.

Нами выделяются: 1) рельеф погребенный (захороненный под более молодыми образованиями); 2) рельеф видимый (по Спиридонову [315]), состоящий из элементов рельефа различного возраста, в том числе и современного; как правило, в этом рельефе находят отражение многие этапы развития земной поверхности; 3) рельеф реставрируемый.

Для восстановления или выявления древнего, например погребенного, рельефа применяется целая серия методов: геоморфологические, геологические, геофизические и др.; наилучший результат дает комплексное их использование.

В данном разделе, составленном на основании главным образом опубликованных материалов, в кратком виде рассматриваются наиболее важные с точки зрения картирования кор выветривания методы. Более полное изложение этих методов имеется в работах К. К. Маркова [194], А. И. Спиридонова [311, 312, 315, 316], Ю. А. Мещерякова [203], Н. В. Башениной и др. [199], А. С. Дев-

дарини [123], Ю. Ф. Чемякова [370—372], В. И. Галицкого [75]; в сборниках «Методы геоморфологических исследований» [201], «Проблемы палеогеоморфологии» [252] и др.

**ГЛАВНЕЙШИЕ МЕТОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ
ПРИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Основные характеристики древнего рельефа, такие, как морфология, генезис, возраст и этапы развития, изучаются геоморфологическими методами. Эти методы заключаются в анализе реликтов исходного рельефа, рельефообразующих процессов прошлого, древних уровней денудации, стадий развития рельефа на фоне изменения всей физико-географической обстановки и т. д. Приемы геоморфологических исследований, по выражению Н. В. Башениной и С. С. Воскресенского [17, с. 66], «могут быть одновременны и тесно переплетаться друг с другом».

Ниже характеризуются следующие методы: морфологический, морфодинамический, структурно-геоморфологический, палеогеоморфологический. Последний описан наиболее детально. Большое значение при геоморфологических исследованиях уделяется дешифрированию аэрофотоснимков, являющемуся также одним из методов геоморфологического исследования.

Морфологический метод

Морфологический метод заключается в изучении внешнего облика наблюдаемых крупных, средних, малых, простых и сложных форм древнего рельефа различного генезиса, их расположения в пространстве, сочетания отдельных частей форм и микроформ, а также в анализе взаимоотношений отдельных частей рельефа и их связи между собой.

Частью морфологического анализа является морфометрический метод, дающий количественную характеристику элементов рельефа (абсолютные и относительные высоты, углы падения склонов, густота расчленения и т. д.).

Своеобразную модификацию морфологического метода представляет собой предложенный В. П. Философовым [352] метод анализа тектонических структур, который заключается в передаче на картах числовых характеристик рельефа и его составных элементов с последующей геолого-геоморфологической интерпретацией их, разработанной только для расчлененных платформенных равнин, сложенных осадочными породами, где удастся выявить расположение куполообразных и брахиантиклинальных складок, валов и флексур. На основе главных морфологических и морфометрических показателей выделяются соподчиненные морфологические комплексы рельефа.

Изучение существующей морфологии и морфометрии земной поверхности, выявление закономерностей и взаимозависимостей рас-

пространения группировок форм имеет большое значение для выводов о морфогенезе. При отсутствии других данных результаты исследований морфографическим методом важны для выяснения происхождения, относительного возраста рельефа, этапов и стадий его развития. Детальное описание методов изучения древнего рельефа приведено в работах А. И. Спиридонова [312], В. П. Филоsofova [352], Н. В. Башениной и др. [199].

Морфодинамический метод

Морфодинамический метод, заключающийся в детальном изучении современных геоморфологических процессов и сопоставлении их с процессами прошлого, позволяет определять особенности палеогеографической обстановки и характера движений земной коры. Особое внимание уделяется изучению рельефообразующих процессов в момент наиболее интенсивного их проявления (паводки, сели, песчаные бури, обвалы, осыпи, лавины, ливни и т. д.). Описание этого метода приводится в работах А. И. Спиридонова [312], Н. В. Башениной и др. [199].

Структурно-геоморфологический метод

Структурно-геоморфологическим методом исследуют исторически сложившиеся соотношения между рельефом и геологическими структурами, определяемые, с одной стороны, тектоническими факторами, с другой — экзогенными [312]. Анализуются формы рельефа всех порядков, так как даже в одном и том же районе их соотношения с геологическими структурами могут быть весьма разнообразными.

Во время полевых исследований зависимость форм рельефа от геологических структур выявляется при сопоставлении наблюдений над взаимоотношением рельефа со складчатостью, условиями залегания и литологией горных пород в разных частях района. Большую помощь в этом отношении оказывает дешифрирование аэрофотоснимков. Наиболее полно зависимость форм рельефа от геологических структур выявляется на геоморфологических разрезах. Анализ отношений элементарных поверхностей и структур дополняется изучением рисунка продольного профиля тальвегов рек, водораздельных линий в плане и выяснением их зависимости от планового расположения линейных структурных элементов. Изучение соотношения между структурными единицами и формами рельефа должно завершаться исследованием группировок или комплексов структурных форм рельефа в связи с различными типами пространственных сочетаний геологических структур. Результаты структурно-геоморфологических исследований обобщаются на структурно-геоморфологических картах.

Палеогеоморфологический метод

Палеогеоморфологический метод является наиболее важным среди методов, применяемых для восстановления древнего (в том числе и погребенного) рельефа. В сущности, этот метод представляет собой синтез морфологического, морфодинамического, структурно-геоморфологического и других методов, где используются также данные исторической геологии, палеогеографии, литолого-фациального анализа, структурно-тектонического метода и т. д.

Рассмотрим подробнее следующие вопросы: изучение погребенного рельефа, в частности палеокарстовых форм, и изучение денудационных поверхностей выравнивания, которые могут быть погребенными, а также выраженными в современном рельефе.

Изучение погребенного рельефа

К настоящему времени накоплено много данных по погребенному рельефу различных районов СССР. Они приводятся в работах В. А. Жукова, А. Э. Константиновича [134], В. И. Игнатьева [148], Л. Б. Рухина [276], А. И. Спиридонова [313, 315], В. А. Котлукова [167], В. И. Галицкого [75], в сборнике «Проблемы палеогеоморфологии» [252].

Обычно исследователь при изучении погребенного рельефа устанавливает (по Спиридонову [315]):

- 1) строение погребенного рельефа;
- 2) характер и степень преобразования ранее существовавшего рельефа во время и после его захоронения;
- 3) происхождение, возраст погребенного рельефа и его влияние на формирование существующего видимого рельефа.

Для выявления погребенного рельефа важно изучать обнажения, вскрывающие породы на большую глубину и на значительном протяжении (берега рек, борта карьеров), материал бурения и геофизической разведки. На основании всех этих материалов составляются палеогеоморфологическая карта и профили к ней. Причем для правильной и полной интерпретации палеогеоморфологических материалов требуется выяснить характер преобразования рельефа. Для этого подробно изучается палеогеографическая обстановка осадконакопления пород, перекрывающих погребенный рельеф. Об интенсивности абразии можно судить по характеру базального горизонта морских отложений, по самим формам погребенной поверхности размыва, степени ее выровненности. Большое значение для реконструкции палеорельефа суши платформенных областей имеет метод В. А. Котлукова [167], заключающийся в том, что в геологическом разрезе выбирается один или несколько опорных слоев (реперов), характеризующихся региональным распространением, устойчивостью литологических и фаунистических признаков. Эти опорные слои должны залегать выше реконструируемой поверхности, отражающей более или менее длительный континен-

тальный перерыв и смену осадочных циклов и являющейся результатом взаимодействия тектонического и экзогенного (денудация) факторов. Производится анализ древних эрозионных поверхностей и их взаимоотношений с фаціальными типами и ритмами перекрывающих осадков, сопоставляются схемы палеорельефа, построенные по нескольким реперам, что дает возможность учесть влияние тектонических проявлений во время накопления изучаемого осадочного комплекса. Возраст погребенного рельефа, как правило, определяется возрастом подстилающих и перекрывающих отложений.

Изучение палеокарстовых форм

Изучение карста весьма важно для восстановления древнего рельефа, а также геохимических и гидрогеологических условий, существовавших во время его формирования. Карст при геоморфологических исследованиях служит индикатором процессов, для которых «необходимы определенные геоморфологические условия, обеспечивающие циркуляцию вод, то есть наличие области или зоны питания, области или зоны циркуляции и области выхода вод...» [279, с. 184—185]. Погребенные карстовые формы (хорошо выдержанные горизонты пещер, системы трещин, полости и т. д.) являются своеобразными «террасами», которые фиксируют древнее расположение подземных водотоков, так же как террасные площадки на склонах эрозионных долин фиксируют положение уровня древних русел рек. Глубина карста обычно указывает на глубину развития процессов выветривания; однако к этому положению следует отнестись критически, ибо, как указывает Ф. П. Саваренский [279, с. 186], существуют «две фазы разработки карстующейся породы: вертикальной разработки с углублением зоны коррозии и горизонтальной разработки с уширением существующих каналов и пещер». Значение изучения карстовых процессов заключается также в том, что карст фиксирует положение уровня грунтовых вод в отдельные геологические периоды.

Таким образом, в процессе исследования карста описываются внешний вид и размеры карстовых форм, состав, возраст и мощность заполняющего карстовые полости материала, состав и условия залегания карстующихся пород; изучаются гидрогеологические условия карстообразования и состав грунтовых вод.

При изучении древнего карста учитываются не только современные физико-географические условия его развития, но и особенности геологической истории территории, палеогеографическая обстановка. Используются данные, получаемые при проведении геофизических исследований. Так, по характеру магнитных аномалий обнаруживают погребенные карстовые воронки, заполненные рыхлым материалом, содержащим минералы магнитной фракции и залегающим на поверхности немагнитных известняков. Карстовые депрессии изучаются также электрометрией, причем этим методом определяется не только морфография, но и морфометрия рельефа.

Большое значение изучения поверхностей выравнивания определяется тем, что они формируются в эпохи планации рельефа, благоприятные во многих случаях для формирования и лучшего сохранения кор выветривания. Существует много высказываний о поверхностях выравнивания, однако до сих пор единого, принятого всеми геоморфологами мнения нет. Интерес в отношении кор выветривания представляют главным образом денудационные поверхности выравнивания.

Наиболее четкое определение денудационных поверхностей выравнивания дается Ю. Ф. Чемяковым [370]. Согласно его высказыванию, эти поверхности срезают в различной степени дислоцированные горные породы, структура и литологический состав которых находят лишь слабое отражение в деталях их рельефа; характеризуют рельеф как значительно выровненный, слегка волнистый или холмистый, с одиночными денудационными останцами или участками мелкосопочника, а иногда и островными горами. Возникают эти поверхности в результате длительных процессов комплексной континентальной денудации в условиях спокойного (почти стабильного) тектонического режима.

Однако поверхности денудационного выравнивания, как подчеркивает Ю. Ф. Чемяков, не являются синонимом пенеплена. Пенеплены, как правило, формируются в платформенных условиях, причем «если поверхность денудационного выравнивания лишь в благоприятных случаях может превратиться в пенеплен, то последний в своем развитии обязательно проходит стадию формирования «поверхности выравнивания» [370, с. 30].

Важность изучения поверхностей выравнивания, в том числе и пенепленов, определяется тем, что именно к ним приурочены коры выветривания, причем, по мнению И. И. Гинзбурга [91] и Ю. Ф. Чемякова [370], физическая поверхность выравнивания обычно является кровлей коры выветривания и кора выветривания, в сущности, представляет собой древнюю поверхность выравнивания. На основании этого Ю. Ф. Чемяковым [370] делается вывод об одновременном формировании поверхности выравнивания и кор выветривания. Этот вопрос является пока спорным и требует дальнейшего изучения. Его решение важно для поисков и прогнозов полезных ископаемых. В геологической истории Земли выделяется несколько планетарных эпох рельефообразования, с которыми совпадали периодические изменения процессов выветривания и сноса. З. А. Сваричевская и Ю. П. Селиверстов [285] выделяют следующие этапы рельефообразования:

1) доюрский, характеризующийся региональной пенепленизацией в областях палеозойских складчатостей или образованием денудационных поверхностей на древних (эпипротерозойских) плато-равнинах;

2) юрско-нижнемеловой — первый этап тектонических движений

альпийского мегацикла, когда наметилась тенденция распада единой денудационной поверхности. В областях интенсивных погружений возникли альпийские геосинклинали, а там, где сохранялся платформенный режим, но наметилось прогибание, образовались постепенно расширяющиеся низменности, являвшиеся длительное время областями аккумуляции;

3) верхнемеловой — эоценовый рельеф формировался в условиях нарастания тектонических движений, но денудационные процессы почти всюду постоянно компенсировали их, сохраняя в общем устойчивую его равнинность;

4) олигоцен-нижнеплиоценовый, когда дважды возникали условия для корообразования — в конце верхнего олигоцена и в начале плиоцена;

5) среднеплиоцен-четвертичный — этап интенсивного проявления новейших движений.

Именно с этими эпохами, по мнению А. М. Цехомского и Д. И. Карстенс [365], связано формирование кор химического выветривания на территории Советского Союза. Региональное распространение имеют коры выветривания юрского и палеогенового возраста, приуроченные к поверхностям выравнивания, отмечаемые, в частности, на юге Красноярского края, в Алданском районе Якутской АССР, на Среднем Урале и т. д.

Для изучения поверхностей выравнивания используются различные методы. Наиболее детально они исследуются при геоморфологическом картировании; большую помощь оказывает дешифрирование аэрофотоснимков; существенные результаты дают геофизические методы; интересные выводы могут быть сделаны при изучении материалов бурения.

Все эти данные суммируются при составлении геолого-геоморфологических профилей, которые показывают соотношение поверхностей выравнивания с геологическими структурами.

Очень важным вопросом является определение возраста поверхности выравнивания, который, как известно, соответствует тому отрезку времени, в течение которого произошла планация рельефа. Значительно упрощается задача в том случае, если поверхность выравнивания полностью или хотя бы частично погребена под более молодыми отложениями и ими фиксируется верхний возрастной рубеж поверхности выравнивания. Однако следует иметь в виду, что возраст денудационной поверхности выравнивания в отличие от возраста аккумулятивных поверхностей часто невозможно установить с желаемой точностью. Представление о нем может быть получено при сопоставлении геологических разрезов отложений, коррелятивных данной поверхности, на смежных территориях.

ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОФОТОСНИМКОВ

Одним из методов геоморфологических исследований является дешифрирование аэрофотоснимков, которое в сочетании с наземными геоморфологическими работами дает возможность подверг-

нуть геоморфологическому анализу значительную территорию. Как указывает М. Н. Петрусевич [236], этот метод может играть значительную роль при изучении поверхностей выравнивания, хорошо поддающихся дешифрированию на аэрофотоснимках.

Кроме того, применение дешифрирования аэрофотоснимков облегчает установление общей зависимости рельефа от тектонических структур, как выраженных на поверхности, так и погребенных; выяснение эволюции рельефа, в частности этапов перестройки гидрографической сети по рисунку древней речной сети и связи ее с современными долинами рек и т. п.; изучение новейшей тектоники, оконтуривание участков наиболее интенсивных современных или недавно образовавшихся поднятий и опусканий [15].

Исходные данные для геоморфологических карт получают в процессе полевого и камерального дешифрирования контактной печати. Более подробные сведения по этому вопросу можно найти в работах Н. В. Башениной и др. [199], М. Н. Петрусевича [235, 236].

При дешифрировании аэрофотоснимков большое внимание уделяется дешифровочным признакам, являющимся особенностями фотоизображений, отражающих устойчивые черты изучаемых объектов. Дешифровочные признаки надо выделять, учитывая ландшафтную обстановку, подкрепляя выводы рядом наблюдений и постоянно проверяя полевыми исследованиями. Нужно изучать взаимозависимость компонентов ландшафта, которые позволяют установить прямые, косвенные и комплексные дешифровочные признаки.

Помимо изучения рельефа путем стереоскопического анализа аэрофотоснимков, следует тщательно сопоставлять фотоизображения с реальным рельефом и с топографической картой, где имеются горизонтали и высотные отметки. Это дает ряд количественных характеристик рельефа, которые нельзя получить с аэрофотоснимков. В целом геоморфологическое дешифрирование позволяет:

- 1) составить представление о морфологии поверхности;
- 2) получить косвенные сведения о генезисе отдельных форм рельефа или крупных их группировок и провести генетическое районирование рельефа;
- 3) установить связь рельефа с коррелятивными ему отложениями;
- 4) получить представление о динамике современных морфогенных процессов;

5) выяснить в ряде случаев основные черты структуры района.

Хорошей дешифрируемостью обладают элювиальные образования, приуроченные, как правило, к поверхностям выравнивания. Однако, ввиду того что от поверхностей выравнивания сохраняются обычно только реликты, к тому же расположенные на различных уровнях, геоморфологические исследования в этих случаях часто приводят к неоднозначным решениям. Изучение аэрофотоснимков в сочетании с наземными маршрутами дает возможность сопо-

ставить останцы поверхностей выравнивания и выяснить принадлежность их к одному или нескольким уровням.

Анализ характера гидросети может дать материал как по выявлению структур, так и по установлению признаков, указывающих на вещественный состав пород, скрытых под покровом новейших рыхлых образований.

Следует отметить, что при дешифрировании необходимо уделять большое внимание изучению растительного покрова, являющегося одним из немногих компонентов, получающих прямое отображение на аэрофотоснимках. Растительность, чутко реагируя на условия существования, отражает особенности рельефа и геологического строения территории [381].

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДРЕВНЕГО РЕЛЬЕФА

Геологические данные, полученные на основе анализа фаций, мощностей отложений, истории тектонических движений, исследования вещественного состава отложений, путей переноса этих отложений, расположения их генетических типов в зависимости от форм рельефа, дают возможность получить представление о развитии рельефа в определенную геологическую эпоху или на протяжении ряда геологических эпох.

В последнее время большое значение для палеогеографических и палеогеоморфологических построений приобрели детальные исследования минерального состава отложений. Все шире используются методы количественного анализа, позволяющие делать сравнительно объективные сопоставления и заключения [45]. Именно к таким методам относится изучение коррелятивных отложений, заключающееся в восстановлении на основании исследования их состава характера древнего рельефа, в процессе изменения которого материал поступал в область аккумуляции. Минеральный состав осадков помогает определить, кроме характера рельефа, геохимическую обстановку формирования исходного материала, в том числе и кор выветривания.

Помимо характеристики древнего рельефа, изучение коррелятивных отложений может помочь реконструировать и высоту водоразделов, существовавших в момент формирования осадочных пород. Для этого сопоставляются средние мощности пород и при помощи несложных расчетов определяется высота срезанного денудацией водораздела. Однако к определению высоты водоразделов надо отнестись весьма осторожно и учитывать все факторы, влияющие как на осадкообразование, так и на процессы денудации.

Следует отметить ценность метода коррелятивных отложений для определения возраста (относительного) рельефа в случае отсутствия палеонтологических данных, которые могли бы датировать возраст отложений.

Геофизические методы, как известно, имеют большое значение для выявления и установления характера погребенного рельефа. Однако роль различных видов геофизических методов неодинакова: первостепенное значение имеют сейсмо- и электрометрия, реже используются гравиметрия и магнитометрия.

Сейсмометрия

Модификации этого метода, основанные на применении отраженных, преломленных, поперечных и обменных волн, могут дать характеристику рельефа кристаллического или складчатого фундамента, залегающего под рыхлыми образованиями мощностью 50—300 м [40, 121].

Большое значение имеет рекогносцировочное сейсмическое профилирование, заключающееся в обычных сейсмических наблюдениях методом преломленных и отраженных волн с непрерывным прослеживанием опорных или условных горизонтов по редкой сети взаимосвязанных профилей [346]. При строительстве крупных гидротехнических сооружений сейсмометрия применяется для изучения погребенного рельефа скальных пород под рыхлыми образованиями и прослеживания тектонически ослабленных зон.

Сейсмометрией определяется также мощность рыхлых отложений и выявляются реликты древней гидрографической сети в условиях вечной мерзлоты [7], где была применена модификация сейсмометрии — корреляционный метод преломленных волн (КМПВ), основанный на использовании параметров физической среды, на изменение которых мерзлотный режим и литология рыхлых отложений не оказывают большого влияния. В этом методе используются существующие физические различия (акустическая жесткость) рыхлых отложений и коренных пород. Большим достоинством метода является также то, что он обеспечивает непрерывное построение преломляющей границы, т. е. поверхности коренных пород.

Электрометрия

Для определения рельефа складчатого основания, перекрытого более молодыми слабодислоцированными и относительно хорошо проводящими породами, применяется метод вертикального электрического зондирования — ВЭЗ [385]. Эта задача решается в основном на участках, в пределах которых складчатое основание залегает на глубине, не превышающей первых сотен метров. Находит применение ВЭЗ и для картирования древних долин, которые выделяются благодаря различным сопротивлениям пород коренного ложа по сравнению с рыхлыми толщами аллювиально-делювиальных отложений, перекрывающих коренные породы. Ме-

тодом ВЭЗ решается задача определения разрушенности пород; трещиноватые и закарстованные участки выделяются по пониженному сопротивлению слагающих их пород.

При детальном исследовании, проводимых для изучения рыхлых образований, широко применяются различные модификации электропрофилирования в комплексе с методом ВЭЗ и картировочным бурением.

Гравиметрия

Данные гравиметрии привлекаются для решения многих геологических и геоморфологических задач, заключающихся в определении глубины залегания складчатого фундамента и различных горизонтов в осадочном чехле, а также выделении и оконтуривании погребенных выступов и депрессий в поверхности фундамента [35].

Магнитометрия

Магнитометрия дает возможность определить глубины залегания и рельеф поверхности кристаллического фундамента платформенных областей, выявить региональные разломы и картировать находящиеся на глубине массивы пород основного состава [382].

Следует добавить, что большое место при геоморфологических исследованиях отводится аэромагнитным наблюдениям, результаты которых в комплексе с дешифрированием аэрофотоснимков позволяют внести много нового в познание рельефа района. Кроме того, данные магнитометрии широко используются при интерпретации электрометрических и гравиметрических наблюдений. При этом результаты интерпретации становятся более однозначными.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ КАРТИРОВАНИИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Основной целью геоморфологических исследований при изучении кор выветривания является восстановление рельефа времени их формирования и установление взаимосвязи кор выветривания с определенными формами рельефа. Геоморфологические исследования помогают определить геологическую обстановку, оптимальную для образования кор выветривания, выяснить, как эти геологические условия отражаются в рельефе, и дать оценку экзогенным полезным ископаемым, связанным с корой выветривания.

Осуществляются геоморфологические исследования при геологической съемке, поисковых работах и в процессе специальных геоморфологических исследований или же они являются частью программы тематических работ по изучению кор выветривания.

В результате регионального изучения кор выветривания составляются литолого-геологические и литолого-палеогеографиче-

ские карты разных масштабов. Отличительной особенностью литолого-палеогеографических карт кор выветривания является то, что они составляются для определенной эпохи; при наличии нескольких эпох выветривания на исследуемой территории такие карты составляются для каждой из них. В этих случаях исключительное значение имеет восстановление древнего рельефа, особенно погребенного, для чего в первую очередь используются палеогеоморфологический и структурно-геоморфологический методы. Большую ценность при составлении мелкомасштабных карт кор выветривания имеют данные дешифрирования аэрофотоснимков и региональных геофизических исследований.

Материалы, полученные на основе применения указанных методов, в большинстве случаев дают возможность уже в стадии предварительной их обработки восстановить с той или иной степенью детальности картину поверхности района, имевшую место в эпоху выветривания, и составить для него геоморфологическую схему соответствующего масштаба. В полевой период для уточнения схемы древнего (а также и современного) рельефа, построенной на основании имевшихся в начале работ данных, наиболее целесообразно применять ключевой, или гнездовой способ контрольных исследований. Он заключается в том, что в пределах изучаемой территории выделяются участки, которые подвергаются дополнительному исследованию. Производится выбор участков так, чтобы они по своему геоморфологическому строению и в отношении положения кор выветривания были типичными для исследуемого района. Важно, чтобы эти участки были обеспечены топографическими картами, материалами дешифрирования аэрофотоснимков и другими вспомогательными материалами, а также были бы легкодоступны для изучения. На основании исследований ключевых участков делаются выводы о рельефе более обширных территорий и связи с его формами в изучаемом регионе кор выветривания.

Помимо исследований по принципу ключевого способа следует проводить маршрутное изучение района, причем направление маршрутов желательно выбирать таким образом, чтобы на пересекаемых ими геоморфологических структурах были расположены коры выветривания нескольких типов, характерных для региона. На профилях, построенных по данным маршрутных исследований, изображаются: сечение современного рельефа, погребенные поверхности денудации и аккумуляции, положение коррелятивных отложений и кор выветривания. При этом производится, насколько это возможно, увязка последних с соответствующими формами рельефа.

При крупномасштабном картировании кор выветривания, когда составляются обычно литолого-геологические карты, геоморфологические исследования носят иной характер, ибо при таких исследованиях на картах отображается главным образом современный рельеф, для показа которого достаточно использования

геоморфологических карт, в отдельных случаях даже более мелкого масштаба, чем масштаб составляемой карты кор выветривания.

Если геоморфологическая карта исследуемого района отсутствует, то требуется провести специальное геоморфологическое картирование, задачей которого является объективное отражение на картах строения, происхождения, возраста рельефа и положения коррелятивных отложений. Для районов, сложенных карбонатными и галогенными породами, обязательно изучение проявлений карста, в том числе древнего.

При крупномасштабном картировании кор особую ценность представляет геоморфологический анализ детальных топографических карт, которые могут дать много геоморфологических характеристик (абсолютные высоты, глубина расчленения рельефа, углы наклона земной поверхности и т. д.).

В полевой период крупномасштабного изучения кор выветривания, так же как и при мелкомасштабных работах, проводятся дополнительные маршруты. Они проходят как по речным долинам, так и по междуречьям. При этом особенно тщательно изучаются формы рельефа, к которым приурочены коры выветривания. Если в районе на уровне современной поверхности развиты коры выветривания нескольких эпох, то требуется получение материалов для решения вопроса о приуроченности их к различным формам рельефа разного возраста. Для этого целесообразно оконтурить основные поверхности денудационного выравнивания, получить их точную топографическую привязку, выявить характер переходов склонов одной поверхности к другой и т. д. Если в задачу работ входит исследование кор выветривания, залегающих на значительной глубине, что вызывает необходимость выявления погребенного рельефа, то могут быть использованы методы, применяемые и при мелкомасштабном картировании (палеогеоморфологический, структурно-геоморфологический и др.). В этом случае погребенный рельеф отражается на разрезах, являющихся приложением к картам кор выветривания.

ПЕТРОГРАФО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ ПОРОД

В корях выветривания распространен очень широкий комплекс минералов. Сюда входят реликтовые минералы исходных пород и гипергенные новообразования. В настоящем разделе на основании накопленного во ВСЕГЕИ опыта исследования кор выветривания дается оценка наиболее распространенных методов определения гипергенных минералов, возникающих при выветривании алюмосиликатных пород.

МЕТОД КРАСИТЕЛЕЙ

Метод красителей применяется для определения глинистых минералов [55] в полевых условиях и на первых этапах изучения минерального состава глинистых зон коры выветривания. Использование этого метода дает возможность определить только групповые названия присутствующих минералов, причем наиболее благоприятной является смесь каолинита и монтмориллонита. Гидрослюды определяются только в случае присутствия их в большом количестве ($>80\%$, по Викуловой [61]), а хлориты не определяются вообще.

Метод красителей должен применяться только в сочетании с другими методами исследования.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Петрографический анализ — один из начальных и очень важный этап исследования кор выветривания. Изучение шлифов пород, взятых из разных зон кор выветривания, дает материал для характеристики последовательности развития процессов замещения каждого минерала материнских пород и взаимоотношений новообразованных минералов. По шлифам производится уточнение выделенных в поле структурно-минеральных зон коры выветривания и определяется дальнейший комплекс детальных исследований. Определение гипергенных минералов по оптическим свойствам — сложная, а часто невыполнимая задача. Это объясняется высокой степенью дисперсности фаз, существованием постепенных переходов одних минералов в другие, колебаниями хи-

мического состава, обусловленными миграцией составляющих эти минералы элементов, и в связи с этим — изменением их оптических свойств.

При диагностировании глинистых минералов возможны ошибки при установлении принадлежности их к той или иной группе и тем более при определении видового названия. Наиболее достоверно в шлифах продуктов кор выветривания определяются окислы Si, Fe и Al (последние — если присутствуют в значительном количестве), каолинит, цеолиты и карбонаты.

Наибольшие трудности возникают при определении в шлифах минералов группы монтмориллонита. В опубликованных работах по минералогии кор выветривания основных пород распространенной ошибкой является отнесение минералов группы монтмориллонита к гидрослюдам и хлоритам. Часто эта ошибка допускается при определении новообразований начальной стадии выветривания, когда исследователи не могут выделить в достаточном для анализов количестве минералы из пород, еще сохранивших первичные структуру, текстуру и прочность. Наблюдаемые в шлифах псевдоморфозы по оливины и пироксену в виде «монокристаллов» с коричневой или зеленой окраской и высоким дву-преломлением могут быть приняты за гидрослюду или, при наличии изотропных участков, за хлорит. Крупные зеленые пластинки с желтыми тонами интерференции нередко определяются как гидрохлорит. Часто только по оптическим свойствам определяют нонтронит, не принимая во внимание, что они очень близки к свойствам сапонитов. Такие определения должны быть проконтролированы рентгеноструктурным анализом вырезок из шлифов, о чем будет сказано ниже.

Невозможно определение в шлифах смешаннослойных минералов, из которых наиболее часто в работах упоминается гидрохлорит. Следует отметить, что этот минерал образуется в основном при выветривании хлорита и в специфических условиях сильнощелочной среды, слабого выноса Mg, окисления Fe^{2+} и других Fe- и Mg-содержащих минералов ультраосновных и основных пород [14]. Оптические свойства его очень непостоянны и, следовательно, не могут быть использованы для диагностики.

При определении гидрохлоритов должна быть получена характеристика структуры минерала, поскольку она не аналогична иллитовой, а представляет собой сочетание слоев типа хлорит — монтмориллонит, хлорит — вермикулит, хлорит — разбухающий хлорит и т. д. Только в таком случае определение гидрохлорита можно считать надежным.

Изучение шлифов дает возможность определить последовательность образования глинистых минералов, установить целый ряд морфологических особенностей их частиц, обуславливающих возникновение разнообразных колломорфных структур. Весьма характерной особенностью глинистых минералов кор выветривания является более крупный, чем в обычных осадочных породах,

размер их чешуек (до 0,5 мм). Крупные чешуйки можно наблюдать в разных горизонтах коры выветривания. В нижних горизонтах это объясняется способностью новообразований в какой-то степени наследовать структуру и форму первичных минералов, при разрушении которых возможно сохранение кремнекислородных тетраэдров, играющих роль своеобразного каркаса.

В верхних горизонтах коры выветривания в условиях интенсивной миграции растворов в рыхлых, пористых, трещиноватых породах глинистые минералы при кристаллизации образуют самые разнообразные ориентированные колломорфные структуры, редко наблюдаемые в других типах пород.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Гранулометрический анализ производится для пород из глинистых зон кор выветривания, которые размокают в воде без дробления, при растирании резиновым пестиком. Предварительное дробление пород искажает результаты гранулометрического анализа и может привести к разрушению глинистых минералов, что затрудняет их дальнейшее изучение.

Для характеристики степени выветренности пород используются данные о содержании в различных горизонтах коры выветривания фракции тонкодисперсных минералов ($<0,001$ мм).

Большой интерес представляет изучение реликтовых минералов крупных фракций, степени и характера их изменений, дефектов в структурах и т. д. К сожалению, до сих пор этому уделяется мало внимания и процессы замещения, стадийные переходы целого ряда минералов изучены недостаточно. Перестройку их структур в разных условиях мы представляем весьма приблизительно.

Выделение фракций $<0,001$ мм производится путем отмучивания [200], чем достигается отделение реликтовых и новообразованных неглинистых минералов. При отмучивании плотных и карбонатизированных пород следует избегать растирания и обработки соляной кислотой, так как могут быть разрушены некоторые глинистые минералы. Если порода не размокает в воде, для выделения глинистых минералов целесообразно использование ультразвука. Условия обработки и результаты применения ультразвука при изучении минерального состава продуктов коры выветривания сибирских траппов изложены в статье Г. В. Куликовой, Е. Л. Розиновой и Н. Г. Семеновой [175].

При анализе фракций $<0,001$ мм, выделенных с применением соляной кислоты, необходимо учитывать возможность растворения в процессе обработки таких минералов, как хлориты, Mg- и частично Fe-монтмориллониты, переходные минералы типа хлорит — монтмориллонит и т. п. В процессе отмучивания приготавливаются ориентированные препараты фракций $<0,001$ мм [200] для рентгеноструктурного анализа.

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ

Рентгеноструктурный анализ следует рассматривать как основной метод изучения минерального состава продуктов кор выветривания алюмосиликатных пород. Применение его необходимо

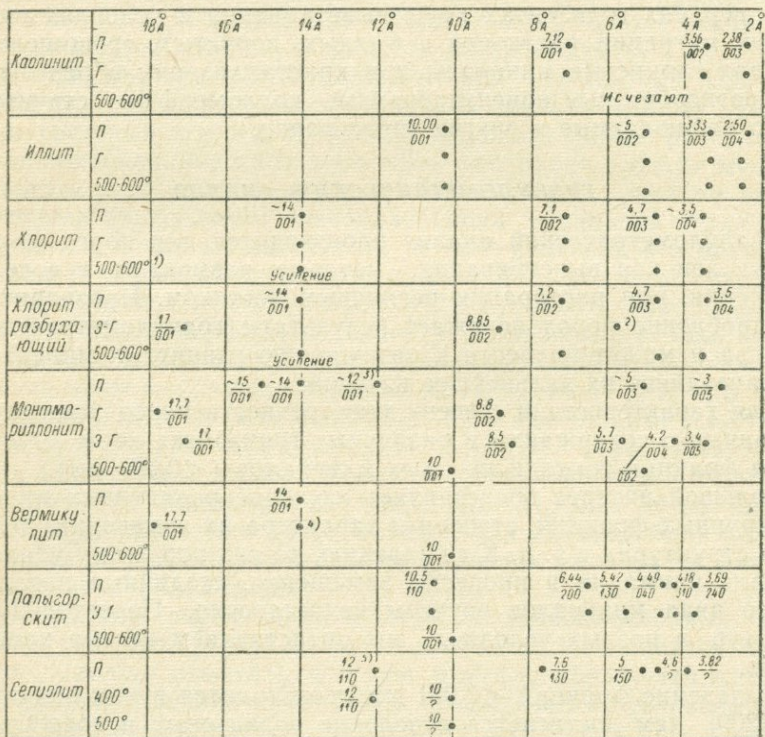


Рис. 12. Значения в ангстремах характерных отражений простых глинистых минералов. Составлено по данным Люка [429] и сборника статей «Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов» [263]

Условные обозначения: П — природные; Г — насыщенные глицерином; Э-Г — насыщенные этиленгликолем

Примечания: 1) У плохо окристаллизованных разновидностей исчезают. 2) Пик второстепенный, очень слабый. 3) Характерен для На-монтмориллонитов. 4) Не разбухают только Mg-вермикулиты. 5) В осадочных глинах часто наблюдается только этот пик

для правильного диагностирования минералов и определения особенностей их структуры. В настоящее время рентгеновские методы широко используются при исследовании глинистых минералов, но существует ошибочное представление о сложности этих методов и недоступности их для широкого круга исследователей. Это несколько преувеличено; основами рентгеноструктурного анализа, необходимыми для расшифровки рентгенограмм и диаг-

ностики минералов, может овладеть каждый минералог. Основные сложности состоят в организации лаборатории рентгеноструктурного анализа, но в настоящее время такие лаборатории уже имеются почти в каждом геологическом учреждении и геологи должны использовать рентгенографию так же широко, как изучение шлифов под микроскопом. Накопленный большой материал по характеристике структурных особенностей глинистых минералов обобщен в целом ряде работ. Наиболее удачной из них является сборник «Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов» под редакцией Г. Брауна [263].

Ниже дается краткая характеристика структурных диагностических признаков наиболее распространенных в породах выветривания глинистых минералов и возможностей их определения по результатам рентгеноструктурного анализа (рис. 12). Обычно рентгеноструктурное изучение глинистых минералов производится в два этапа: 1) получение дифрактограмм ориентированных препаратов фракции $<0,001$ мм и 2) получение рентгенограмм неориентированных препаратов.

Дифрактограммы дают возможность определить состав фракций глинистых минералов по базальным отражениям ($00l$), интенсивность которых увеличивается благодаря применению ориентированных препаратов. Для определения наиболее распространенных глинистых минералов часто достаточно использования дифрактограмм.

Для установления присутствия палыгорскита и сепиолита, модификаций гидрослюд, разновидностей монтмориллонита и определения степени совершенства структур минералов необходимы общие отражения типа hkl и $hk0$. Они получаются при съемке неориентированных порошков на дифрактометре и в камере.

Заслуживает внимания метод получения порошковых рентгенограмм вырезок из шлифов, предложенный Г. Т. Волостных [72]. Преимущество этого метода состоит в том, что он дает возможность выделить и исследовать отдельные мономинеральные новообразования, представляющие интерес, в то время как во фракциях $<0,001$ мм неизбежно попадают и другие тонкодисперсные компоненты породы. Но выводы по дебаеграммам таких вырезок следует делать осторожно в связи с невозможностью производить необходимые обработки препарата. Например, частичное сохранение канадского бальзама может исказить картину разбухания минерала при насыщении глицерином. Но тем не менее по рентгенограммам вырезок из шлифов в сочетании с другими наблюдениями могут быть детально исследованы минералы начальной стадии выветривания.

Значительно упрощает методику рентгеноструктурного анализа возможность использования природно ориентированных поверхностей глинистых пород, позволяющая избежать необходимость отмучивания [62].

КАОЛИНИТ

Присутствие каолинита легко определяется по четким базальным рефлексам 001, 002 и 003, соответствующим межплоскостным расстояниям (d) 7,12, 3,56 и 2,37—2,38 Å. Трудности возникают при определении каолинита в смесях с другими минералами, дающими рефлексы около 7,1—7,2 Å. К таким минералам относится широко распространенный в осадочных породах хлорит, имеющий обычно слабое отражение 001 (~ 14 Å) и совпадающие с каолиновыми отражения 002 (7,1 Å) и 004 ($\sim 3,5$ Å). Если каолинит присутствует в значительном количестве, надежным критерием для его определения является наличие отражения около 2,37—2,38 Å (003). Часто для диагностики каолинита в смеси с хлоритом необходимо применять специальные обработки. Наиболее распространенным и эффективным является растворение хлорита при кипячении в соляной кислоте [263]. При такой обработке растворяются почти все хлориты (время обработки от нескольких минут до 12 ч) и отражения около 7,1 и 3,5 Å на рентгенограммах могут расшифровываться как каолиновые. Каолинит в таких условиях не растворяется. Этот метод не является универсальным в связи с разной способностью хлоритов растворяться в соляной кислоте.

Присутствие каолинита в смеси с хлоритом в некоторых случаях устанавливается по уменьшению интенсивностей рефлексов 7,12 и 3,56 Å после прокаливания до 600°С. При этой температуре каолинит разрушается. Применение прокаливания не всегда эффективно, поскольку распространенные в осадочных породах плохо окристаллизованные хлориты, так же как и каолиниты, разрушаются при температурах около 600°С.

В. В. Власов и В. И. Ремизников [68] предлагают использовать для диагностики каолинита его способность реагировать с гидратом окиси натрия с образованием гидросодалита. Несовпадение линий гидросодалита с линиями глинистых минералов и продуктов их реакций с NaOH, по данным этих авторов, дает возможность решать вопрос о присутствии каолинита.

П. Бискай [394] рекомендует определять присутствие каолинита и хлорита путем разделения их сдвоенных пиков около 7 и 3,5 Å при замедленной съемке на дифрактометре со скантронным счетчиком. По данным этого автора, в случае присутствия в смеси этих минералов условия съемки обеспечивают более точную фиксацию их рефлексов и происходит раздвоение пиков на 7,16 Å (каолинит 001) и $7,08 \pm 0,02$ Å (хлорит 002), 3,56 Å (каолинит 002) и 3,54 Å (хлорит 004).

По дебаеграммам присутствие каолинита в смеси с хлоритом может быть установлено по отражению 060, поскольку d (060) хлорита лежит в пределах 1,530—1,550 Å, а d каолинита — 1,49 Å. Но при этом следует учитывать, что у редко наблюдаемых диок-

гаэдрических хлоритов [398, 401, 446] рефлекс 060 совпадает с каолинитовым.

Порошковые рентгенограммы по характеру общих (hkl) рефлексов дают возможность судить о степени совершенства и упорядоченности структуры каолинита. По Г. Бриндли и Р. Робинсону [400], хорошую окристаллизованность и совершенство структуры каолинита характеризуют: 1) присутствие на рентгенограмме всех рефлексов, соответствующих структуре каолинита; 2) частичное разрешение дублета $1\bar{1}\bar{1}$ и 111 , которому соответствуют межплоскостные расстояния 4,18 и 4,13 Å; 3) слабый фон рассеяния и острые, не расплывающиеся в сторону более высоких углов рефлексы в интервале значений от $d=4,5$ Å до $d=3,5$ Å; 4) присутствие рефлексов в интервале межплоскостных расстояний 3,5—2,5 Å, имеющих индексы k , равные 1 или 2.

В работе Г. А. Ковалева и Ю. С. Дьяконова [160] приведены рентгенограммы каолинитов, характеризующихся разной степенью совершенства структур и образующих ряд каолинит — галлуазит. Галлуазит рассматривается как наиболее неупорядоченный член этого ряда. Диагностика галлуазита обычно вызывает затруднения. На дифрактограммах часто не получается достаточно четких базальных рефлексов минерала из-за трубчатой формы его частиц и плохой их ориентировки в препаратах. Рентгенограмма смеси каолинита с галлуазитом может быть неотличима от рентгенограммы неупорядоченного каолинита [399].

В зависимости от содержания воды в галлуазите изменяются положения рефлексов, определяющих присутствие минерала. Обычно галлуазит характеризуется размытыми широкими рефлексами с межплоскостными расстояниями 7,20—7,70 Å (колебания связаны со степенью совершенства структуры) и 3,60 Å, интенсивным диффузным рефлексом около 4,43 Å. У гидратированного галлуазита наблюдаются интенсивные рефлексы около 10 и 4,45 Å, при нагревании до 110°С первый из них исчезает и появляется отражение, соответствующее межплоскостному расстоянию 7,20 Å.

Достаточно определенным признаком присутствия галлуазита является трубчатая форма частиц на электронно-микроскопических снимках.

ГРУППА ГИДРОСЛЮД

Наличие на дифрактограммах серии четких базальных отражений, соответствующих межплоскостным расстояниям 10; 5; 3,33 и 2,50 Å, свидетельствует о присутствии минерала из группы гидрослюд (иллитов). Приведенные рефлексы не совпадают с рефлексами других глинистых минералов, не смещаются при насыщении глицерином и не изменяют интенсивности при обработке кислотами и при нагревании до 600°С.

Порошковые рентгенограммы дают возможность определить модификацию гидрослюды (1M, 1Md, 2M₁, 2M₂, 3T), принадлеж-

ность ее к диоктаэдрической или триоктаэдрической серии. Пока в природе не установлено триоктаэдрических гидрослюд, аналогов гидромусковита, так как гидратация триоктаэдрических слюд (биотита, флогопита) и хлорита приводит к образованию смешаннослойных минералов. И если рефлекс 060 характеризует принадлежность гидрослюды к триоктаэдрическому ряду, надо получить рефлекс при малых углах отражения и изучить их изменения при прокаливании и насыщении глицерином, чтобы установить отсутствие монтмориллонита, смешаннослойных и других триоктаэдрических минералов.

По данным Е. П. Соколовой [310], мусковиты и гидромусковиты характеризуются модификацией $2M_1$, что может быть установлено по порошковым рентгенограммам. Для них характерны: 1) максимальные интенсивности базальных рефлексов нечетных порядков (001, 003 и 005); 2) полная серия отражений от плоских сеток $11\bar{l}$ и $02l$, наиболее интенсивные из которых располагаются группами, образуя «триплеты».

На примере изучения глиноземистого аналога глауконита Е. П. Соколова [310] характеризует особенности дебаеграмм слюд модификации $1M$, которые в общих чертах сводятся к меньшему разнообразию рефлексов типа $11\bar{l}$ и $02l$.

Глауконит характеризуется высокой степенью кристалличности и, следовательно, более резкими и интенсивными рефлексами на рентгенограммах, чем другие тонкодисперсные слюдистые минералы глин. Но этого признака недостаточно для диагностики глауконита; более достоверным является наличие Fe_2O_3 в химическом составе минерала.

Для иллита наиболее характерна модификация $1M$; при наличии диффузного рассеяния, обнаруженного А. Левинсоном [425] у однослойных диоктаэдрических иллитов, их модификация обозначается как $1Md$.

При изучении гидрослюд следует иметь в виду их способность давать смешаннослойные образования с 14-ангстремовыми минералами. Очень часто на дифрактограммах наблюдается слабая асимметрия пика 001 ($d \sim 10 \text{ \AA}$) в сторону малых углов. Это может служить признаком присутствия 14-ангстремовых слоев в структуре иллита. При наличии монтмориллонитовых слоев в количестве более 10% наблюдается разбухание минерала (от 11 до 17 \AA в зависимости от содержания последних).

Возможны смешаннослойные образования хлорит — слюда и вермикулит — слюда, определение которых требует более глубокого анализа и детальных обработок.

ГРУППА МОНТМОРИЛЛОНИТА

Для определения присутствия минералов группы монтмориллонита достаточно установить характер смещения серии базальных рефлексов на рентгенограммах после насыщения препаратов

глицерином. Положение и интенсивность наиболее сильного рефлекса монтмориллонитов 001, используемого для диагностики, зависит от ряда факторов (характера обменных катионов, количества адсорбционной воды, природы самого минерала и т. д.). Межплоскостные расстояния могут колебаться в пределах от 10 до 16 Å [433].

При насыщении глицерином во всех монтмориллонитах, независимо от положения рефлекса 001, межплоскостное расстояние увеличивается до 17,7—17,8 Å. Это служит надежным критерием для установления присутствия минерала. Для исследования разбухания минералов группы монтмориллонита рекомендуется кроме глицерина применение этиленгликоля. Насыщение глицерином ориентированных препаратов часто приводит к нарушению ориентировки глинистых частиц, и на дифрактограммах не получается четких базальных рефлексов, характеризующих степень разбухания. При использовании этиленгликоля можно производить насыщение методом испарения без риска нарушать ориентировку. Но при этом надо принимать во внимание, что при атмосферных условиях некоторые монтмориллониты не могут удерживать полное количество этиленгликоля и это искажает характер разбухания [424].

При сопоставлении базальных рефлексов монтмориллонитов необходимо производить контроль влажности, так как базальные расстояния могут изменяться в зависимости от ее изменения в пределах от 10 Å в сухой среде, до 18 Å — в наиболее влажной. Съемка образцов при определенной и постоянной влажности дает возможность сравнивать монтмориллониты и производить количественный анализ фракции <0,001 мм смешанного состава. В литературе рекомендуется несколько способов контроля условий съемки; один из них — съемка в особой камере в потоке воздуха определенной влажности [434]. Для достижения одинакового поглощения воды фракциями <0,001 мм применяется насыщение их однотипными катионами — Ca, Mg или Na, что можно сделать с помощью обработки фракций растворами хлоридов этих элементов.

Особенности присутствующих монтмориллонитов определяются по серии общих рефлексов *hk*, получаемых на порошковых рентгенограммах. Определение принадлежности минерала к дили триоктаэдрическому ряду производится по положению линий 06, 33, соответствующей межплоскостным расстояниям 1,490—1,520 Å (диооктаэдрические) и 1,520—1,535 Å (триоктаэдрические).

Особого внимания заслуживает вопрос об определении бейделлита и отличии его от других монтмориллонитов. Существование бейделлита в последнее время подвергалось сомнению, так как многие из описанных в литературе «бейделлитов» при дальнейших исследованиях оказывались смесями минералов: монтмориллонита и каолинита, монтмориллонита и хлорита и т. д. В настоящее время доказано существование бейделлита как крайнего

глиноземистого члена монтмориллонитовой серии и в бейделлитовый ряд предложено помещать минералы с отношением $Si : Al$, приближающимся к 3 : 2. Для установления присутствия минералов бейделлитового ряда необходимо проводить комбинированные исследования [414]. При этом используется то обстоятельство, что монтмориллонит после насыщения катионами Li и нагревания до 200—300°С сжимается необратимо, а с бейделлитом этого не происходит.

Образование бейделлита в коре выветривания описано В. Н. Разумовой [258] и представляется возможным при разрушении минералов, в которых Al замещает Si в тетраэдрах (например, некоторые пироксены, амфиболы, хлориты и т. д.).

При исследовании смесей, содержащих монтмориллонит, возникают трудности в случае присутствия вермикулита и хлорита, имеющих рефлексы, близкие к рефлексам монтмориллонита или совпадающие с ними. Предварительное насыщение фракции <0,001 мм катионами Mg [450] дает возможность отличить монтмориллонит от вермикулита по отсутствию разбухания решетки последнего.

В большинстве случаев насыщение глицерином дает возможность отделить отражение 001 монтмориллонита от отражения 001 хлорита, так как обычно хлориты не разбухают при такой обработке. Но в последнее время в литературе появились описания разбухающих хлоритов, межплоскостное расстояние у которых под воздействием глицерина увеличивается до 17,8 Å [445], поэтому метод оказывается неэффективным. Насыщение глицерином не дает точной диагностики монтмориллонита и хлорита, когда отражение 001 последнего очень слабое. Наиболее достоверно различия между этими минералами устанавливаются в результате прокаливании при температуре около 500°С. В этом случае усиливается интенсивность рефлекса 001 (~14 Å) хлорита, в то время как межплоскостные расстояния монтмориллонита уменьшаются до 10 Å, а разбухающего хлорита — до ~12 Å.

При использовании для удаления хлорита соляной кислоты следует учитывать, что такая обработка приводит к полному или частичному растворению некоторых монтмориллонитов (сапонит, нонтронит).

Исследование смесей 14-ангстремовых минералов (монтмориллонита, хлорита, вермикулита) должно производиться с особой тщательностью, так как эти минералы могут встречаться в виде смешаннослойных образований и переходных промежуточных фаз (например, монтмориллонит — хлорит).

Уивер [451] предлагает для решения вопроса о генезисе монтмориллонитов применять насыщение фракций глинистых минералов K^+ , используя 1 н. раствор КОН. Метод основан на разной способности монтмориллонитов, образовавшихся по неслюдистому и слюдистому материалам (пепел, силикаты), поглощать K^+ , что приводит к сжатию решетки последних до размеров слюди-

стой ($\sim 10 \text{ \AA}$). Применение метода дает интересные результаты, но при использовании их для выводов об условиях образования следует иметь в виду, что характер смещения отражения 001 монтмориллонитов после обработки КОН существенно зависит от влажности образца при съемке [441]. В работе этого автора показано, что у пепловых монтмориллонитов, насыщенных K^+ , в зависимости от влажности образца по-разному изменялось межплоскостное расстояние 001.

ГРУППА ВЕРМИКУЛИТА

Вермикулит легко определяется только в случае присутствия в виде чешуек крупных размеров ($>0,01 \text{ мм}$). Определение тонкодисперсного вермикулита в глинах и почвах [449, 450] встречает затруднения в связи с его способностью к быстрой (несколько секунд) регидратации после прокаливания и одинаковым с монтмориллонитом разбуханием. Поэтому установить его присутствие часто невозможно. Изменение рефлексов при насыщении и прокаливании показано на рис. 12.

ГРУППА ХЛОРИТА

Минералы этой группы определяются по серии базальных рефлексов 001 и особенно по межплоскостному расстоянию 14—15 \AA рефлекса 001. В отличие от монтмориллонита базальные отражения хлорита позволяют говорить о его составе. Хлориты, богатые Fe, дают сравнительно слабые отражения нечетных порядков (001, 003, 005) и сильные отражения 002 и 004. Если Fe в октаэдрических слоях хлорита занимает не более 30%, базальные отражения первых пяти порядков имеют среднесильную или сильную интенсивность. Поэтому для определения разновидности хлорита достаточно детального изучения базальных рефлексов; общее отражение 060 характеризует принадлежность минерала к три- или диоктаэдрической серии.

Главная трудность при изучении хлорита состоит в установлении его присутствия в смеси с другими глинистыми минералами, так как рефлекс 001 хлорита часто бывает слабым и совпадает с рефлексом 001 монтмориллонита и вермикулита, а рефлексы 002 и 004 совпадают с рефлексами 001 и 002 каолинита. Методы отличия этих минералов указаны при характеристике монтмориллонита и каолинита. Здесь следует подчеркнуть, что для этих целей лучше использовать ориентированные препараты, усиливающие базальные рефлексы хлорита. Наблюдаемое на дифрактограммах отражение 003, соответствующее межплоскостному расстоянию 4,7—4,8 \AA , принадлежит только хлориту, и по нему достоверно устанавливается присутствие минерала. Отсутствие такого рефлекса, однако, не доказывает обратного, так как он может быть очень слабым у Fe-хлоритов и не проявляться в случае небольшой примеси минерала.

Главное отличие дифрактограмм хлорита и вермикулита заключается в разнице интенсивностей базальных отражений. Установление взаимоотношений хлоритового и вермикулитового компонентов в смеси представляет собой сложную задачу, которая может быть решена только с помощью комплекса рентгеновских методов, применяемых для определения смешаннослойных образований.

Используя методы, связанные с разложением хлорита кислотами (чаще всего для этой цели употребляется 2,5—5%-ный раствор HCl), следует иметь в виду, что растворимость хлоритов зависит от целого ряда факторов. Главную роль играют химический состав и степень кристалличности [432].

Fe-хлориты и плохо окристаллизованные разности быстрее разлагаются в теплой разбавленной HCl. Иногда для полного растворения необходимо поддерживать температуру около 80°С в течение 10—12 ч. При такой обработке могут раствориться и другие, более устойчивые минералы. Плохо окристаллизованные хлориты разрушаются при прокаливании до 600°С.

В советской геологической литературе широко распространено представление о существовании в продуктах выветривания «гидроформы» хлорита — гидрохлорита. Приводимые при этом доказательства (результаты термического, рентгеновского анализов) часто опровергают правильность употребления такого термина, не применяемого в иностранной литературе. Термин «гидрохлорит» наводит на мысль об аналогии этого минерала с гидрослюдами. В то же время приводимые рентгенограммы [13, 100] гидрохлоритов не имеют ничего общего с рентгенограммами гидрослюда и часто не отличаются от рентгенограмм хлоритов, разбухающих хлоритов, «мобильных» хлоритов и монтмориллонитов или смесей последних с каолинитом. Прокаливание и насыщение глицерином часто устанавливает в таких гидрохлоритах присутствие вермикулитовых и монтмориллонитовых слоев, которые в одних случаях дают смешаннослойные образования, в других — механические смеси. Для уточнения этого и выяснения характера процесса выветривания хлорита необходимо тщательно исследовать образования такого типа.

Анализ многих рентгенограмм гидрохлоритов, приведенных в литературе, показывает принадлежность этих минералов к группе монтмориллонита. Это дает основание предполагать существование монтмориллонитовой стадии в процессе перехода хлорита в каолинит. Гидрохлоритами, вероятно, можно называть разбухающие хлориты, бруситовые слои в которых в различной степени недосыщены магнием, содержат непостоянное количество воды и могут рассматриваться как аналог межслоевого пространства Mg-монтмориллонита.

Интересные результаты исследования гидрохлоритов приведены в работе А. П. Афанасьева [14], который характеризует минерал как смешаннослойное образование.

В своей последней работе к почти аналогичному выводу приходит В. Н. Разумова [258]. По нашему мнению, она допускает ряд неточностей, например считает возможным существование гидрохлоритов с монтмориллонитовой структурой.

СМЕШАННОСЛОЙНЫЕ МИНЕРАЛЫ

Определение смешаннослойных минералов, как уже отмечалось, — более сложная задача. По данным Люка [429], А. Г. Косовской [165] и др., образование их является результатом изменения глинистых минералов в различных условиях. В корях выветривания они могут возникать при разрушении слюд или в результате вторичных процессов, действующих на глинистые минералы элювия.

Для исследования смешаннослойных минералов применяются дифрактограммы ориентированных препаратов фракций $<0,001$ мм, так как они диагностируются главным образом по базальным отражениям (001). Присутствие смешаннослойных минералов устанавливается по наличию отражений при малых углах, соответствующих удвоенным межплоскостным расстояниям простых 14- и 10-ангстремовых минералов (от 30 до 24 Å).

МИНЕРАЛЫ СВОБОДНЫХ ОКИСЛОВ АЛЮМИНИЯ И ЖЕЛЕЗА

Гиббсит, бемит, диаспор, гетит, гематит наиболее достоверно определяются по данным рентгеноструктурного анализа. Самые распространенные из них и часто ассоциирующиеся — гиббсит и гетит — имеют общий термический эффект в интервале 300—400°С, бемит, каолинит и хлорит — в интервале 500—600°С. Они могут присутствовать также в виде маловодных разновидностей, имеющих более слабые термические эффекты, что затрудняет определение их по кривым нагревания. Для диагностирования минералов свободных окислов Al и Fe необходимо получение порошковых рентгенограмм, на которых фиксируются все рефлекссы, необходимые для определения этих минералов и их смесей.

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Термический анализ при исследовании кор выветривания нами применяется как вспомогательный. Самостоятельное значение он может иметь при определении галлуазита, карбонатов, вермикулита и цеолитов — минералов, имеющих четкие и несовпадающие термические эффекты.

Определение состава фракций глинистых минералов по кривым нагревания должно контролироваться данными рентгеноструктурного анализа.

Термический анализ является более быстрым по сравнению с рентгеноструктурным и не требует столь тщательной подготовки

исследуемого материала, так как многие минералы термоинертны при нагревании до 1000—1100°С (плагиоклазы, большинство пироксенов и т. д.). Поэтому термический анализ легче применять в широком масштабе. Но при этом следует учитывать, что характерные для целого ряда гипергенных минералов термические реакции происходят при одних и тех же или очень близких температурах (например, эндотермическая реакция при 500—600°С наблюдается у каолинита, хлорита, гидрослюд, анальцима, диаспора; при 300—400°С — у гиббсита, гетита и т. д.).

В связи с этим при расшифровке термограмм фракций, представляющих собой смеси нескольких минералов, часто нельзя получить однозначного ответа. При сочетании термического и рентгеноструктурного анализов по кривым нагревания можно получить очень интересные данные об особенностях глинистых минералов и ускорить их определение. Например, если дифрактограмма показывает присутствие только монтмориллонита, то по высокотемпературным эффектам на кривой нагревания можно установить его разновидность — нонтронит, сапонит или алюмомонтмориллонит.

С помощью термического анализа достоверно устанавливаются кальций в поглощенном комплексе монтмориллонита и некоторые другие примеси в минералах. Подробное описание методики термического анализа имеется в сводных работах А. И. Цветкова и др. [362], В. П. Ивановой [146], Н. И. Горбунова и др. [111], Н. Д. Топора [339], Р. Маккензи [430] и др.

ЭЛЕКТРОНОГРАФИЯ И ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Электроннография — метод структурного анализа, с помощью которого определяются тонкие структурные особенности минералов по общим рефлексам (hkl). Метод применим в основном для мономинеральных фракций, но в сочетании с рентгеноструктурным анализом используется для определения разновидностей монтмориллонитовых минералов в смеси с хлоритом и для детализации политипных разновидностей слюд.

В настоящее время электроннография применяется не достаточно широко при исследовании кор выветривания. Необходима популяризация этого метода, важного для выяснения структурных особенностей минералов.

Электронно-микроскопический анализ — это качественный метод, который может использоваться для характеристики формы частиц тонкодисперсных минералов и имеет вспомогательное значение при их диагностике. Электронно-микроскопические снимки играют решающую роль при определении минералов со специфической морфологией частиц, галлуазита, сепиолита и палыгорскита, а также при установлении характера перехода одних минералов в другие. Для получения достоверных сведений необходимо

использование микродифракции интересующих исследователя частиц [117]. К сожалению, этот метод почти не применяется и поэтому электронно-микроскопические снимки обычно используются только как иллюстрации.

Из изложенного следует, что для определения минералов коры выветривания необходимо применение комплекса методов, самыми важными и обязательными из которых, по нашему мнению, являются петрографические исследования и рентгеноструктурный анализ. Все другие методы — вспомогательные, и в результате их применения решаются только частные вопросы. В случае возможности выполнения всех видов анализов наиболее рациональной будет следующая последовательность их применения для изучения минерального состава кор выветривания:

- 1) гранулометрический анализ;
- 2) петрографические исследования;
- 3) рентгеноструктурный анализ;
- 4) термический анализ;
- 5) электронная микроскопия и электронография.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Геохимические исследования в общей программе изучения кор выветривания занимают одно из главных мест, поскольку само возникновение кор выветривания связано с глубоким изменением состава исходных пород. В зависимости от особенностей внешних условий, а также состава и строения субстрата меняется характер развивающихся процессов и поведение различных элементов, что определяет тип формирующегося профиля выветривания.

Геохимические исследования ставят целью разрешение обширного круга вопросов, среди которых основными следует считать: выяснение характера физико-химических обстановок образования и последующего изменения кор выветривания; энергетический анализ процессов гипергенного преобразования пород; качественную и количественную оценку миграции элементов как в отдельных зонах коры выветривания, так и за ее пределами; анализ связей между элементами в условиях выветривания.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК

подавляющее большинство исследователей, занимавшихся вопросами физической химии процессов осадконакопления [120, 253, 326, 334—336, 348, 390, 412, 423 и др.], принимают за основные параметры, определяющие физико-химическую обстановку среды в условиях гипергенеза, Eh и pH.

По мнению ряда исследователей, Eh — pH-диаграммы так же наглядно отражают физико-химическое состояние гипергенных сред, как петрохимические диаграммы (давление — температура) — состояние эндогенного минералообразования.

Однако для характеристики среды выветривания кроме этих, несомненно важных, показателей необходимо добавить по крайней мере еще два параметра: температуру и степень и характер минерализации природных вод. В условиях выветривания температура, степень и характер минерализации вод, как правило, оказывают не меньшее влияние на распределение элементов, чем pH и Eh.

КОНЦЕНТРАЦИЯ ВОДОРОДНЫХ ИОНОВ И ОКСИЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Концентрация водородных ионов и способность вещества к окислению — два параметра, тесно связанных друг с другом, поскольку оба они определяются в первую очередь свойствами ионов водорода и кислорода в природных средах.

Концентрация водородных ионов

Концентрация водородных ионов оценивается водородным показателем рН, который представляет собой десятичный логарифм активной концентрации водородных ионов H^+ , взятый с обратным знаком:

$$pH = -\lg[H^+].$$

Поскольку ионное произведение чистой воды при температуре $+22^\circ C$ составляет $[H^+]\cdot[OH^-]=1\cdot 10^{-14}$, то $[H^+]=\sqrt{1\cdot 10^{-14}}=10^{-7}$, а $pH=7$.

Раствор при $pH=7$ имеет нейтральную реакцию, при $pH>7$ — щелочную, а при $pH<7$ — кислую.

Определение рН производится либо с помощью потенциометра, либо с помощью окрашенных индикаторов [202 и др.].

Реакция окисления—восстановления

Окисление—восстановление — комплекс реакций, сущность которых выражается в изменении электровалентности взаимодействующих атомов и их ионов. При окислении вещество обедняется электронами, при восстановлении обогащается ими. Теряя электрон, элемент переходит от низкой валентности к более высокой, и наоборот.

Мерой реакции окисления—восстановления является окислительно-восстановительный потенциал (Еh), который измеряется разностью потенциалов (в вольтах или милливольтках), возникающих в исследуемой среде.

Диаграммы Еh—рН

За последние годы учеными многих стран проводились многочисленные определения Еh и рН разнообразных природных сред. В 1960 г. группа американских ученых систематизировала более 6000 определений по группам природных сред [390]. Данные нанесли на диаграммы в координатах Еh—рН. Границы теоретически возможного существования воды, очевидно, определяются реакциями разложения ее на водород и кислород: верхний предел — $H_2O \rightleftharpoons O_2 + 2H^+ + 2e^-$; нижний предел — $H_2O \rightleftharpoons \frac{1}{2}H_2 + (OH)^- + e^-$ (рис. 13). В этих границах Л. Г. М. Беккинг, И. Р. Каплан и

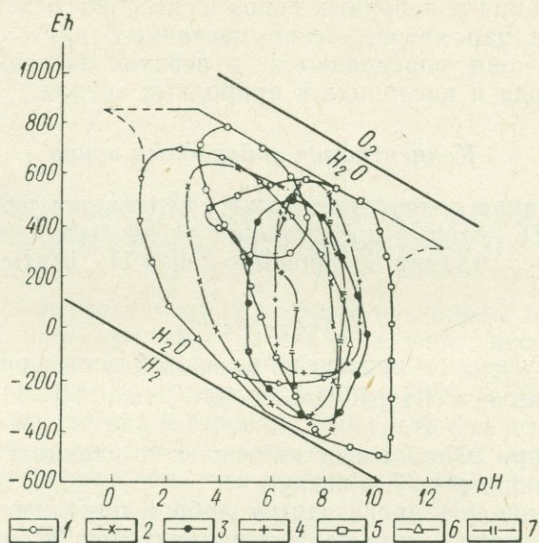


Рис. 13. Приблизительные поля значений Eh и pH для некоторых природных сред:

1 — метеорные воды; 2 — торфяные воды; 3 — прибрежно-морские осадки; 4 — морские воды; 5 — осадки открытого моря; 6 — эвапориты; 7 — термальные воды (по Л. Г. М. Беккингу и др.)

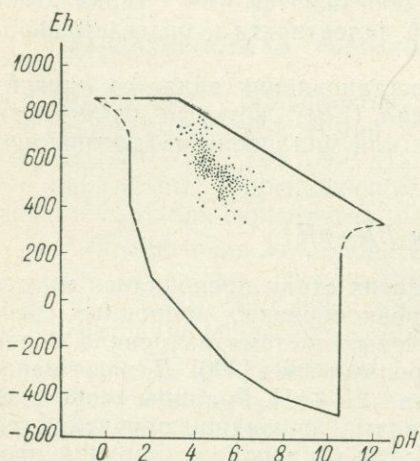


Рис. 14. Eh—pH-параметры дождевых вод

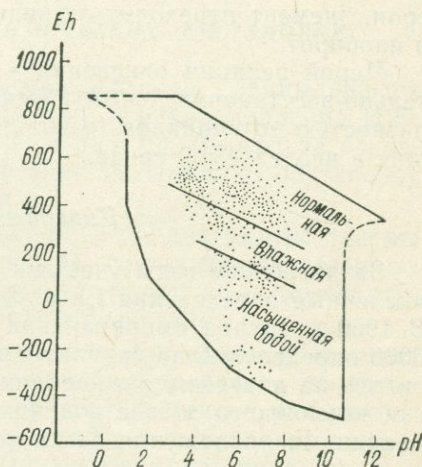


Рис. 15. Eh—pH-параметры почв

Д. Мур оконтурили поле существования природных сред. Контурь этого поля обусловлены существующими в природе реакциями окисления — восстановления в системе железо — сера, изменениями в равновесии системы угольная кислота — бикарбонат — карбонат, гидролизом сульфатов железа и в некоторых случаях катионным обменом.

Согласно данным, полученным названными авторами, наиболее агрессивной природной средой являются дождевые воды, занимающие особое место в ряду изученных систем. Для них характерны высокие значения Eh и низкие — рН (рис. 14). В отдельных случаях рН дождевых вод понижается до 3,0—3,6. Это обстоятельство Л. Г. М. Беккинг и соавторы объясняют образованием кислот (наиболее вероятно — азотной) во время грозových разрядов.

Сравнивая Eh—рН-диаграммы дождевых вод и непосредственно образующихся из них почвенных, мы отчетливо наблюдаем картину увеличения щелочности, обеднения кислородом и обогащения углекислотой (рис. 15).

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ВОД

Геологические исследования показывают, что при равных рН и Eh водных растворов менее минерализованный раствор более энергично выщелачивает породы, чем более минерализованный.

Один из мощных химических реагентов и сильных природных растворителей — чистая, неминерализованная вода. Агрессивность этой воды обусловлена постоянным присутствием в ней активных ионов H^+ и OH^- , а также полярностью ее молекул. Реакции воды с минералами горных пород составляют основу гидролиза — главного процесса выветривания силикатных пород.

По мере накопления в воде продуктов гидролиза, т. е. повышения ее минерализации, агрессивность воды по отношению к силикатам и алюмосиликатам существенно падает. Поэтому для энергичного течения процессов выветривания нужна не просто вода с определенными параметрами рН и Eh, а очень слабо минерализованная дождевая, пресная и очень пресная, формирующаяся в условиях свободного и активного водообмена.

Этой стороне вопроса обычно уделяют мало внимания. Необходимость удаления продуктов выветривания из породы часто не учитывается при постановке лабораторных опытов по моделированию природных процессов выветривания.

При изучении природных объектов резко бросается в глаза быстрое затухание процессов выветривания силикатов и алюмосиликатов по мере погружения породы под уровень грунтовых вод. В одном и том же районе коры выветривания, развивавшиеся в условиях равнин, всегда имеют меньшие мощности, нежели коры выветривания районов со сравнительно резко выраженным релье-

фом, имеющим высокий гидродинамический градиент подземных вод.

Кроме степени минерализации вод, для выяснения физико-химических обстановок чрезвычайно важно определение соотношения в растворе анионов сильных и слабых кислот [86]. Дело в том, что некоторые компоненты при совместном нахождении в растворе либо оказывают друг на друга сенсibiliзационное воздействие, либо, наоборот, приводят к осаждению из раствора.

Пока что исследования этой стороны вопроса в природных средах только начинаются, лишь взаимодействие гидратированных ионов кремнекислоты, железа и алюминия в лабораторных условиях изучено достаточно обстоятельно. Так, Окамото и его соавторы [435] показали, что ион Al^{3+} , будучи введенным в раствор, существенно понижает растворимость кремнезема. По данным Окамото, добавление Al^{3+} в пропорции 1 часть Al^{3+} к 45 частям SiO_2 осаждает кремнезем из гидрозоля настолько, что количество остающегося кремнезема не превышает $(2 \div 5) \cdot 10^{-4}\%$ [обычное содержание кремнезема в природных водах составляет $(10 \div 60) \cdot 10^{-4}\%$, лишь в поверхностных слоях морской воды оно понижается до $(0,1 \div 4) \cdot 10^{-4}\%$]¹.

Взаимная коагуляция зелей гидроокиси железа $Fe(OH)_3$ и SiO_2 также наступает при вполне определенных соотношениях, а именно, когда на 1 часть Fe_2O_3 приходится от 1,0 до 1,6 части SiO_2 . Коагуляция зелей $Fe(OH)_3$ и MnO_2 наступает при соотношениях 1 часть Fe_2O_3 к 0,164—0,450 части MnO_2 [294].

ТЕМПЕРАТУРА

Температуры на земной поверхности колеблются в пределах от $+80$ до $-80^\circ C$. В корах же выветривания амплитуды колебания их значительно меньше и на глубинах первых метров уже не превышают $40-50^\circ C$.

Безусловно, эти колебания не сопоставимы с теми, что имеют место при кристаллизации магмы и даже при гидротермальной деятельности. Но именно в этом, казалось бы небольшом, диапазоне температур происходят резкие качественные и количественные изменения в поведении большинства химических элементов, существенно влияющие на ход процессов выветривания. Так, при $0^\circ C$ замерзает вода — основной компонент среды и практически прекращаются реакции гидратации и гидролиза.

В середине диапазона колебаний температур располагается «биологический нуль» большинства живых организмов, т. е. прекращается активная деятельность растительности, роль которой

¹ Кремний и алюминий находятся в водах в ионной коллоидной и полимерной формах, но для удобства расчетов и сопоставлений продуктов выветривания с материнскими породами в большинстве работ и в настоящем разделе пособия они выражены в форме окислов.

в процессах выветривания трудно переоценить. Активность химических реакций выветривания в интервале от 0 до 30—40°С возрастает в несколько раз, а некоторые из них протекают в иных качественных соотношениях.

Изучение температурного режима кор выветривания и влияния его на формирование облика элювия пока что находится в начальной стадии и не вышло за рамки сбора фактического материала. Так, например, до сих пор нет удовлетворительного объяснения тому факту, что бокситы в современных условиях образуются только в районах с постоянно высокими температурами зон выветривания.

Определение температур верхних горизонтов кор выветривания в районах латеритообразования показало, что они колеблются в интервалах 25—55°С, а температуры фильтрующихся грунтовых вод достигают 30—35°С [159, 210, 431 и др.]. Эти данные указывают на практическое отсутствие сколько-нибудь резкой границы между низкотемпературными гидротермами и грунтовыми водами тропиков.

Лишь в последние годы в ряде стран начаты исследования растворимости силикатов и алюмосиликатов в водах, связанных с корами выветривания, в зависимости от температуры [422, 435 и др.]. Первые результаты этих работ показали, что растворимость аморфного кремнезема резко возрастает при повышении температуры. Так, если при 0°С его растворимость составляет $(50 \div 80) \cdot 10^{-4}\%$, то при 100°С она возрастает до $(360 \div 420) \times 10^{-4}\%$.

Опыты Р. Пикеринга [439] по выщелачиванию породообразующих компонентов (Si, Al и Fe) из горных пород — латита, натрового андезита и перидотита — показали, что растворимость кремнезема, содержащегося в породах, резко возрастает с повышением температуры. В то же время растворимость природных соединений алюминия и железа падает. Опыты проводились в диапазоне рН от 5,6 до 8,0, т. е. полностью включали среды, характерные для кор выветривания.

Эти лабораторные данные находят подтверждение и в анализах вод различных климатических зон Земли. Так, содержание глинозема в поверхностных водах латеритных областей варьирует от следов до 1 мг/л, редко выше. В то же время кремнезема здесь содержится от 9 до 46 мг/л, т. е. в десятки, а иногда и в сотни раз больше, чем глинозема. В водах же холодных областей количество растворенного глинозема 0,5—3,0 мг/л (в водах, богатых гуминовыми кислотами, — до 7 мг/л), количество кремнезема обычно 3—8 мг/л [47, 49].

Таким образом, в интервале температур, свойственных корам выветривания, намечается отчетливая термическая дифференциация породообразующих элементов: кремния, с одной стороны, алюминия и железа — с другой.

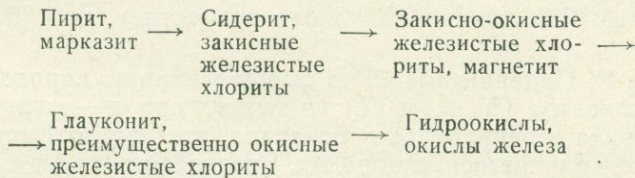
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время существуют два пути восстановления физико-химических обстановок прошлых времен, пригодные для исследований как осадочных пород, так и остаточных образований: 1) анализ косвенных признаков (парагенезы минералов, химический состав пород); 2) получение и интерпретация некоторых суммарных характеристик, частично отражающих физико-химическую обстановку времен формирования породы — обменное рН, обменное Eh (восстановленная емкость), анализ водных вытяжек.

АНАЛИЗ КОСВЕННЫХ ПРИЗНАКОВ

Подразделение физико-химических обстановок по парагенезам минералов лежит в основе разрабатываемой рядом исследователей проблемы геохимических, или минералого-геохимических фаций [120, 253, 334 и др.]. Наиболее полно классификация геохимических фаций, главным образом на основе изучения поведения минералов железа и с учетом изменения кислотности среды, была разработана Г. И. Теодоровичем [336].

По изменению значений Eh от восстановительных до окислительных минералы железа подразделяются следующим образом [333]:



По этим данным Г. И. Теодоровичем выделяются сульфидная, сульфидно-сидеритовая, шамозитовая и другие фации в соответствии со стадиями окисления железа.

В качестве геохимических индикаторов среды могут быть использованы минералы не только железа, но и марганца [253, 254], органическое вещество [120], пределы ториево-уранового коэффициента [387], а также ряд редких и рассеянных элементов [158].

В. Крумбейн и Р. Гаррелс [423] свели известные данные в таблицу минеральных ассоциаций в зависимости от значений рН и Eh среды осадкообразования (рис. 16). По этой таблице могут быть определены условия среды.

АНАЛИЗ СУММАРНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Казалось бы, стройная на первый взгляд теория геохимических фаций при более детальном рассмотрении вызывает ряд существенных возражений [326 и др.]. Одним из ее недостатков

Восстановительная емкость

Все существующие методы определения восстановительной емкости основаны на количественном подсчете либо восстановительных компонентов, либо кислорода, который затрачивается на окислительные реакции вещества пород. Подсчет производится путем замеров на потенциометре величины окислительно-восстановительного потенциала Eh в вольтах или милливольтках.

Простой экспресс-метод получения количественной характеристики окислительно-восстановительных свойств пород и руд разработан в последние годы Л. С. Евсеевой и Н. П. Фоминой [131]. В основу его положен принцип методики Бардоши и Бод [16] — измерение энергии окислительно-восстановительного процесса при окислении породы сильным окислителем.

В качестве окислителя применяется 0,1 н. раствор $KMnO_4$, в который для получения щелочной среды добавляется 10%-ный раствор КОН. Содержащиеся в испытуемой породе вещества окисляются и восстанавливают перманганат, в результате чего значение потенциала раствора уменьшается.

Поглощенный комплекс и обменная кислотность

Большинство тонкодисперсных пород обладает способностью сорбировать из водных растворов определенное количество ионов. В дальнейшем эти ионы, составляющие поглощенный комплекс породы, не переходят в раствор, но способны обмениваться в эквивалентных количествах на ионы фильтрующихся вод.

Суммарное количество поглощенных ионов, содержащихся в единице веса породы, называют емкостью поглощения; последняя обычно выражается в миллиэквивалентах на 100 г породы.

Состав поглощенного комплекса существенно варьирует в зависимости как от физико-химической обстановки среды, так и от минерального состава тонкодисперсной фракции. Например, в нижних горизонтах кор выветривания, богатых щелочами и щелочными землями, в составе поглощенного комплекса преобладают Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ . В то же время в поверхностных горизонтах латеритных профилей поглощенный комплекс иногда почти целиком состоит из ионов H^+ и Al^{+3} .

Наибольшую емкость поглощения (до 100—150 мг-экв на 100 г породы) имеют породы, в составе которых преобладают минералы монтмориллонитовой группы, наименьшую (3,3 мг-экв на 100 г породы) — каолинитовый элювий.

В зависимости от состава поглощенных катионов существенно меняется рН водных вытяжек этих пород. В случае преобладания в составе поглощенного комплекса катионов щелочных или щелочноземельных металлов имеет место щелочная реакция водной вытяжки ($pH=8,0 \div 8,5$). Если же поглощающий комплекс насыщен ионами H^+ и частично Al^{+3} , то водная вытяжка имеет

кислую реакцию ($pH=5\div 6$ и ниже). Иногда среди поглощенных ионов обнаруживаются анионы Cl^- или SO_4^{--} . В таком случае pH водной вытяжки опускается еще ниже (до 3—4).

Методы определения емкости поглощения, состава поглощенных катионов и обменной кислотности довольно многочисленны. Многие из них изложены в ряде руководств [25, 255 и др.]. Методы основаны на десорбции обменных катионов растворами хлористых солей (калия, натрия, бария, аммония и др.), уксуснокислого аммония, метиленового голубого [26, 29, 78, 140, 219, 351, 442].

Разработка теории обмена в тонкодисперсных породах проводилась преимущественно почвоведом. Для решения геологических задач результаты определения состава поглощенных комплексов, емкости поглощения и обменной кислотности стали применяться сравнительно недавно.

За последние годы группа сотрудников Института геологии Арктики (И. С. Грамберг, Н. С. Спиро, Ц. Л. Вовк и др.) провела широкие исследования по использованию этих показателей с целью определения физико-химических обстановок древних бассейнов осадконакопления. При интерпретации полученных данных исследователи исходили из предположения о слабой изменчивости поглощенных комплексов после захоронения осадков. По мнению И. С. Грамберга, Н. С. Спиро и др., поглощенный комплекс древних пород отражает состав вод древних водоемов.

Что касается состава поглощенных комплексов, емкости поглощения и обменной кислотности древнего элювия, то определение этих показателей может оказать существенную помощь в восстановлении характера более поздних процессов преобразования кор выветривания. Подобные вопросы решаются путем сравнения поглощенных комплексов древних и современных кор выветривания, сходных по условиям образования.

Кроме того, изучение состава поглощенного комплекса и емкости поглощения в ряде случаев позволяет предсказать появление геохимических барьеров, связанных с адсорбцией того или иного полезного компонента тонкодисперсной фракцией глинистого элювия.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Кора выветривания является той зоной литосферы, где наиболее активно протекают процессы перераспределения вещества, сопровождающиеся разрушением одних и возникновением других минеральных ассоциаций, более устойчивых в условиях гипергенеза. Эти процессы требуют значительного расхода энергии. Количество затрачиваемой энергии и скорость ее перемещения зависят от ряда причин и в первую очередь от физико-географической обстановки, в которой протекают процессы выветривания.

Рассмотрение вопросов о концентрации и распределении энергии в различных типах и зонах коры выветривания, а также вопроса об ее источниках является задачей энергетического анализа.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Энергетический анализ является одной из частей раздела физической химии — химической термодинамики. Этот раздел рассматривает явления, относящиеся к области химии, в частности к физической химии, связанные с энергетическим состоянием систем.

Энергетическое состояние любой системы в химической термодинамике обозначается рядом величин — характеристических функций. Важнейшей функцией энергетического состояния при рассмотрении процессов выветривания является внутренняя энергия системы U . Эта величина характеризует общий запас энергии системы, включая энергию поступательного и вращательного движения молекул, энергию внутримолекулярного колебательного движения атомов, составляющих молекулы, энергию вращения электронов в атомах и др., но без учета кинетической энергии тела в целом и его потенциальной энергии положения.

Как известно, изменение внутренней энергии, сопровождающее всякий процесс, не может быть полностью превращено в работу. В связи с этим запас внутренней энергии U можно представить в виде двух слагаемых:

$$U = F + G,$$

где F — часть энергии, способная превратиться в работу (свободная энергия);

G — часть энергии, не способная ее совершить (связанная энергия).

Свободная энергия иначе называется изохорно-изотермическим потенциалом или просто изохорным потенциалом в отличие от близкой к нему величины — изобарно-изотермического (изобарного) потенциала (Z).

Изобарный потенциал Z связан с другими характеристическими функциями термодинамики равенством

$$Z = H - G,$$

где H — энтальпия, или, иначе, полное теплосодержание системы;

G — связанная энергия.

Энтальпия связана с внутренней энергией системы равенством

$$H = U + p\nu,$$

где p — давление;

ν — объем, занимаемый системой.

Количество связанной энергии в системе определяется формулой

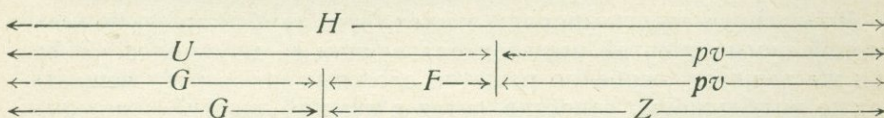
$$G = TS,$$

где T — абсолютная температура;
 S — энтропия.

Изобарный потенциал иногда называют свободной энергией. Можно сказать, что свободная энергия при определенной температуре и постоянном объеме равна изохорно-изотермическому потенциалу.

Поскольку при процессах выветривания объем системы и давление почти не меняются, то в пределах точности расчета можно принять $Z \approx F$.

Графически взаимосвязь перечисленных выше основных характеристических функций термодинамического состояния системы можно изобразить в следующем виде:



Из приведенных определений характеристических функций можно сделать некоторые выводы, необходимые для понимания излагаемого ниже материала:

1. Поскольку в определенных заданных условиях G является величиной постоянной, то для самопроизвольного протекания процесса необходимо уменьшение величины второго слагаемого — изохорного или изобарного потенциала. Реакции такого типа, протекающие с уменьшением свободной энергии, т. е. с выделением тепла, называются экзотермическими и обозначаются знаком «—».

При постоянстве общего запаса энергии, температуры и давления уменьшение свободной энергии при самопроизвольном процессе сопровождается увеличением энтропии.

2. Всякая реакция, протекающая с увеличением потенциала F (или Z), может осуществляться только при условии получения системой энергии извне. Такие реакции называются эндотермическими и обозначаются знаком «+».

Очевидно, что разности свободных энергий ΔF и ΔZ будут характеризовать степень отклонения изотермической (изохорной или изобарной) реакции от равновесных условий и в самопроизвольных необратимых реакциях будут величинами отрицательными, показывающими непрерывное уменьшение функций F и Z ($\Delta Z < 0$, $\Delta F < 0$) до равновесного состояния ($\Delta F = 0$, $\Delta Z = 0$).

Неравенства $\Delta Z > 0$ и $\Delta F > 0$ указывают на невозможность самопроизвольных реакций при данных температуре, давлении и объеме.

Современные методы расчетов характеристических функций позволяют лишь весьма приближенно вычислять энергии решеток минералов как сумму энергий слагающих их окислов. Что же касается свободной энергии, то в настоящее время возможно лишь получение цифровых значений изменения ее величины при образовании того или иного соединения. Эта величина (ΔF или ΔZ) рассчитывается для $t=25^\circ\text{C}$ (или, что одно и то же, $T=298^\circ\text{C}$) и $p=1$ атм.

При исследовании кор выветривания определенную помощь может оказать рассмотрение вопросов концентрации внутренней энергии пород (U), заключенной в решетках слагающих их минералов (баланс внутренней энергии), и вопросов термодинамики процессов выветривания.

БАЛАНС ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Внутренняя энергия породы может быть приближенно принята равной сумме энергий решеток слагающих ее минералов. Энергия же решеток, особенно решеток сложных по составу веществ, также приближенно сопоставляется с суммой энергий отдельных нейтральных групп (в частности, окислов), входящих в состав соединения.

Используемый в данном случае принцип аддитивности (сложения энергий), по мнению А. Е. Ферсмана, может быть допущен для грубых расчетов, особенно важных для решения химических задач. Возникающая при этом ошибка связана главным образом с различиями в характере упаковки атомов в различных кристаллических решетках. Точность метода может быть несколько увеличена, если при расчетах учитывать удельный вес минералов, а в случае пород — их объемный вес [152].

Первые попытки расчета энергетического баланса процессов выветривания минералов были сделаны И. И. Гинзбургом [100]. Он проводил эти расчеты, создавая предварительно отвлеченные модели выветривания минералов при различных значениях рН. Полученные им данные в ряде случаев позволяют в первом приближении судить об основных закономерностях энергетического баланса минералообразования, сопровождающего процесс формирования коры выветривания:

1) В большинстве случаев в коре выветривания энергетический баланс перехода одних минералов в другие является отрицательным.

2) Стойкость минералов против выветривания определяется в первую очередь величиной энергии решетки исходного минерала и распределением энергии связей в отдельных частях решетки.

3) Чем больше величина энергии решетки исходных минералов, тем меньше требуется дополнительной энергии для построения решетки новых минералов.

4) В зависимости от рН среды для образования одних и тех же минералов требуются различные количества дополнительной энергии. Так, при превращении каолинита в гиббсит, согласно расчетным данным, в нейтральной среде энергия должна выделяться, а в кислой — поглощаться.

5) Минералы способны изменяться под воздействием климатических и биогенных факторов, переходя в более устойчивые в новых условиях разности с максимальной энергией решеток.

К этим выводам пока что следует относиться осторожно, поскольку при расчетах приходится использовать некоторые условные параметры. Например, И. И. Гинзбург, рассчитывая внутренние энергии минералов, принимает энергию входящего в их состав кремнезема равной энергии кварца (3110 ккал/г·моль). Это принципиально неверно, так как кремнезем входит в структуру большинства минералов в виде кремнекислородных тетраэдров, энергия которых, согласно А. А. Саукову, составляет лишь 704 ккал/г·моль [305]. Подобные допущения приняты и при расчетах энергии H_2O (в структуру минералов чаще входит не H_2O , а OH^- , энергия которого значительно меньше), CO_2 (в минералы входит CO_3^{--}) и т. д.

Ю. В. Казицыным [152] для анализа процессов метасоматоза предложена методика расчета баланса путем сравнения приближенных значений абсолютных величин внутренней энергии определенных объемов пород, так называемой удельной внутренней энергии. Предложенный объемно-энергетический метод, кроме расчета значений внутренней энергии, дает возможность: а) находить энергетические эффекты метасоматических реакций и относительных энергетических уровней процессов формирования различных фаций метасоматических пород; б) находить те приращения или ту убыль внутренней энергии пород, которые имели место в ходе метасоматических преобразований, т. е. приблизиться к количественной оценке энергетики всего процесса.

Объемно-энергетический метод с некоторыми дополнениями может быть применен и к изучению образований кор выветривания, поскольку здесь мы, по сути дела, сталкиваемся с теми же процессами метасоматоза, но протекающими в условиях поверхностного гипергенеза (гипергенный метасоматоз). В отличие от глубинного и гидротермального метасоматоза в коре выветривания, как правило, отсутствует сбалансированное замещение одних соединений другими и вынос вещества резко преобладает над его привносом. Вместе с выносимым веществом, естественно, происходит и значительная убыль внутренней энергии материнской породы, в связи с чем общий баланс энергии в единице объема всегда оказывается отрицательным. Кроме того, в связи с высокой дисперсностью пород существенную роль играет величина поверхностной энергии, которой при изучении гидротермальных процессов пренебрегают.

Важным показателем баланса энергии процесса выветривания в отличие от глубинного метасоматоза является не столько степень и характер ее удаления, сколько энергетический состав, продуктов, оставшихся на месте (элювия). Если первую часть этой задачи можно решить с помощью объемно-энергетического метода, то вторая часть требует пересчета энергии на единицу веса породы. Этот пересчет нами был произведен на грамм вещества для окислов и отдельных часто встречающихся ионов (табл. 6).

Таблица 6

Энергия окислов и ионов

Окислы и ионы	Энергия, ккал/г·моль	Молекулярный вес	Энергия, ккал/г
SiO ₂ (кварц)	2661,8	60,09	44,32
TiO ₂	29,43	79,90	36,83
Al ₂ O ₃	36,18	101,94	33,77
Fe ₂ O ₃	38,28	159,68	23,94
MgO	940,1	40,32	23,31
CaO	852,9	56,08	15,20
MnO	959	70,93	13,52
FeO	964	71,94	13,40
Na ₂ O	615	61,99	9,92
SiO ₄ ⁴⁻	704	92,09	7,65
K ₂ O	556,5	94,20	5,90
OH ⁻	94,72	17	5,57
CO ₃ ²⁻	199,68	60	3,33

Как следует из табл. 6, окислы, наиболее устойчивые в коре выветривания, как-то: SiO₂ (кварц), TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, имеют максимальные запасы внутренней энергии в единице веса породы. Поэтому процесс выветривания, приводящий к распаду породы на простые соединения и накоплению в поверхностных горизонтах окислов алюминия, титана, железа, кремния (кварца), можно представить как процесс аккумуляции энергии в

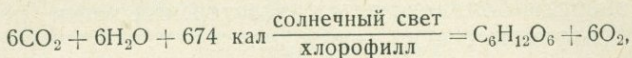
зоне гипергенеза в виде энергоемких окислов и удаления веществ, обладающих более низкой внутренней энергией.

Расчеты, проведенные в соответствии с табл. 6, показывают, что в единице веса латеритного элювия обычно заключено в 1,5—3 раза больше внутренней энергии, чем в материнской изверженной породе.

Очевидно, что распад материнской породы на энергоемкие окислы и окислы с более низкой внутренней энергией происходит главным образом под воздействием солнечной радиации. При этом следует отметить, что солнечная энергия непосредственно воздействует лишь на очень небольшую поверхностную часть земной коры. Основные аккумуляторы и распределители солнечного тепла по толще элювия — органическое вещество и фильтрующиеся грунтовые воды. Поэтому там, где эти два фактора особенно интенсивны (например, расчлененный рельеф во влажных тропических странах), процессы разложения пород будут протекать наиболее энергично.

Сколь мощным аккумулятором солнечной энергии является процесс фотосинтеза, лежащий в основе воспроизводства органи-

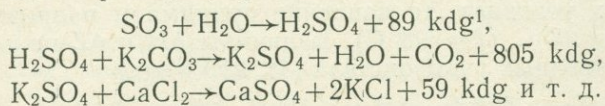
ческого вещества, показывает его химическая реакция, обычно изображаемая в следующем виде:



т. е. при образовании только одной молекулы органического соединения у поверхности Земли происходит накопление 674 кал (!). В дальнейшем эта энергия расходуется на различные эндотермические реакции гипергенеза, а частично вновь возвращается в космическое пространство. Конечный баланс энергии, поглощаемой Землей и, наоборот, выделяемой ею в космическое пространство, в настоящее время трудно определить. По этому вопросу до сих пор существуют прямо противоположные суждения.

Один из основоположников учения о коре выветривания Б. Б. Польшов [242] считал, что при выветривании вещество стремится перейти в наиболее инертное дисперсное состояние. В результате этого вещество выделяет тепловую энергию. Свободная энергия входит во внешнюю оболочку Земли и рассеивается в космическом пространстве. В последующем осадки погружаются в недра Земли, пополняют там растроченные на поверхности запасы энергии и при очередном цикле вновь поднимаются кверху. Таким образом, выветривание, по мнению Б. Б. Польшова, ведет к потере тепла земной оболочкой.

В подтверждение своей гипотезы Б. Б. Польшов приводит ряд экзотермических реакций, протекающих в зоне гипергенеза:



С другой стороны, ряд исследователей [59, 177, 348 и др.] считают, что в верхних горизонтах Земли (в том числе и в коре выветривания), наоборот, происходит накопление энергии за счет поглощения солнечной радиации не только органическим веществом, но и непосредственно минералами. Эти представления пока что базируются лишь на изучении поведения основных порообразующих элементов в минералах алюминия и кремния.

Давно замечено, что в минералах магматических и глубоко-метаморфизованных пород алюминий находится в четверной координации, в то время как в зоне гипергенеза он имеет, как правило, октаэдрическое окружение (шестерная координация). Переход из четверной координации в шестерную сопровождается поглощением энергии, т. е. абсолютным накоплением ее в верхней оболочке Земли.

Аналогичное явление накопления энергии наблюдается и при переходе кремния из изолированных тетраэдров, характерных

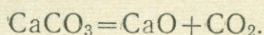
¹ 1 калория = 4,1850 абсолютного джоуля или 4,1833 интернационального джоуля.

для магматических пород, в кремнекислородные цепочки, пояса и листы гипергенных минералов. В какой мере эти процессы накопления энергии балансируются экзотермическими реакциями окисления, гидратации и др. — неясно.

СВОБОДНАЯ ЭНЕРГИЯ МИНЕРАЛОВ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Расчеты свободной энергии (Z и F) продуктов выветривания дают более интересные и надежные результаты для познания термодинамики процессов выветривания. Они позволяют определить направление и даже интенсивность той или иной реакции и на этом основании высказать предположение о ходе процессов выветривания в определенных условиях среды.

Для примера рассмотрим реакцию



Расчет свободной энергии этой реакции произведем по формуле Гиббса—Гельмгольца

$$\Delta Z = \Delta H - T\Delta S,$$

где ΔZ — изменение свободной энергии реакции;

ΔH — изменение энтальпий;

T — абсолютная температура;

ΔS — изменение энтропий.

Поскольку мы рассматриваем процесс, протекающий в приповерхностных условиях, то давление принимаем равным 1 атм и температуру 25° С ($T = 298^\circ \text{C}$). Величины ΔH и ΔZ приведены во многих справочных руководствах [38, 218 и др.]:

$$\Delta H = -288,45, \Delta H = -151,9, \Delta H = -94,0518;$$

$$S = +22,2, S = +9,5, S = +51,061;$$

$$\Delta H_{\text{реак}} = 42,50 \text{ ккал}, T\Delta S_{\text{реак}} = 11,43 \text{ ккал}.$$

Таким образом, $\Delta Z = 31,07$ ккал.

Поскольку ΔZ — величина положительная, то реакция при указанных значениях T и p самостоятельно идти не может. Но если рассчитывать ее в обратном порядке ($\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$), мы получим $\Delta Z = -31,07$. Отрицательное значение ΔZ показывает, что реакция будет протекать самопроизвольно.

Как следует из табл. 7, взятой из работы И. И. Гинзбурга [100], в нейтральной водной среде самопроизвольного разложения большинства породообразующих минералов не происходит ($\Delta Z_R > 0$). Отсюда понятно, что чем жарче климат, т. е. чем больше энергии будет подводиться извне, тем вероятнее течение этих реакций.

Наименьшее количество энергии необходимо для перехода нефелина в слюды и каолинит, поэтому можно предполагать, что при прочих равных условиях эти минералы будут изменяться в более холодном климате. Поведение калиевого и натриевого

Изобарные потенциалы (ΔF_R^0) реакций образования слюды, каолинита и гибbsite в разных средах

Исходный минерал	Слюда	Каолинит	Гибbsite
Нейтральная среда			
Калиевый шпат	19,28	19,98	27,20
	19,74	18,54	25,74
Нефелин	19,20	12,90	20,10
Кальциевый шпат	6,07	6,07	13,27
Калиевая слюда гипотетическая		18,14	39,74
Кальциевая слюда гипотетическая		6,07	20,47
Сильнокислая среда			
Калиевый шпат	-19,32	-18,62	-11,42
	-19,83	-20,08	-12,88
Нефелин	-28,80	-25,70	-18,50
Кальциевый шпат	-25,58	-25,58	-18,38
Калиевая слюда гипотетическая		-20,48	-1,12
Кальциевая слюда гипотетическая		-25,58	-11,18
Углекислая среда			
Калиевый шпат	3,4	4,1	11,30
	2,9	2,7	9,9
Нефелин	7,0	-2,9	4,3
Кальциевый шпат	-14,18	-14,18	-6,83
Калиевая слюда гипотетическая		-2,3	-23,9
Кальциевая слюда гипотетическая		-14,8	0,22
Кислая углекислая среда			
Калиевый шпат	-13,92	-13,22	-6,02
	-19,88	-20,08	-12,88
Нефелин	-28,8	-25,70	-18,50
Кальциевый шпат	-25,58	-25,58	-18,38
Калиевая слюда гипотетическая		-20,48	1,12
Кальциевая слюда гипотетическая		-25,58	-11,18

полевых шпатов во всех средах почти одинаково, поэтому их изменение в процессе выветривания должно быть близким. Калинатровые полевые шпаты, судя по ΔZ реакции, должны изменяться с бóльшим трудом, чем кальциевый полевой шпат.

В сильноокислой и кислой средах все минералы должны самопроизвольно разлагаться, переходя в слюды, каолинит и даже гибbsite, за исключением калинатровых слюд. Для перехода последних в гибbsite необходим подвод извне небольшого количества энергии.

В слабоокислой углекислой среде ΔZ реакции занимает промежуточное положение.

При переходе минералов материнских пород в слюду в кислой среде выделяется максимальное количество энергии, поэтому такие реакции должны с точки зрения энергетического анализа протекать более интенсивно.

Кроме абсолютной величины свободной энергии существенное значение имеет выявление тенденции к тому или иному ее изменению в зависимости от изменения среды. Так, например, при переходе калиевой слюды в гиббсит во всех средах ΔZ остается положительной, но наблюдается общая тенденция к ее уменьшению от 42,98 в нейтральной среде до 4,38 в сильнокислой.

Некоторые общие выводы, полученные И. И. Гинзбургом из предварительного анализа таблиц, в ряде конкретных случаев могут не соответствовать природным процессам, поскольку не учтены многие факторы гипергенеза, как-то: энергия гидратации, активационные барьеры, присутствие природных катализаторов, взаимодействие сред, степень измельчения вещества и др.

ОЦЕНКА МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Перераспределение элементов при выветривании есть результат сложного комплекса физико-химических процессов: растворения, гидратации, гидролиза, коллоидальных превращений, кристаллизации и метасоматоза. Перемещение элементов сопровождается изменением их внутреннего состояния (потерей или приобретением электронов), а главное, изменением их структурных связей и переходом из одной минеральной формы в другую, более устойчивую в данной конкретной обстановке.

В связи с этим при изучении характера миграции элементов существенное внимание следует уделять определению их минералов — конкретных индикаторов среды процессов выветривания. Очень важно иметь в виду, что минеральная форма элемента часто оказывает решающее влияние на характер его миграции. Например, кремний, входящий в состав кварца, в условиях выветривания является одним из наиболее стабильных минералов, в то же время кремний, входящий в решетки алюмосиликатов, обладает большей мобильностью.

Качественная и количественная оценки миграции элементов в коре выветривания и за ее пределами, а также выявление закономерностей миграции и установление рядов подвижности элементов в различных физико-географических обстановках и в породах разного состава — основные задачи геохимических исследований.

Основными методами получения данных для таких исследований служат химический и спектральный анализы, сопровождающиеся петрографическим и минералогическим изучением пород профилей выветривания. При этом важным разделом работы является аналитическая и графическая обработка результатов ана-

лиза (пересчеты данных анализов, построение диаграмм, вычисление коэффициентов и их сравнение).

Химический анализ применяется преимущественно при изучении поведения так называемых главных элементов — Si, Al, Ti, Ca, Mg, Mn, K, Na, S, P, O. Спектральным анализом чаще пользуются при работах с редкими и рассеянными (малыми) элементами, содержание которых в породах не превышает сотых и реже десятых долей процента.

В последние годы в практику геологических исследований внедряются различные физические методы определения состава пород, основанные на резонансах облучения исследуемого объекта (группа ядерных методов, рентгеноспектральный и др.). Эти методы обладают сравнительно высокой точностью, они более экономичны и требуют меньшей затраты времени.

Применяемые в настоящее время методы оценки миграции элементов и их окислов при формировании кор выветривания основаны на сравнении химического состава исходных пород и пород различных зон профиля выветривания. При этом химический состав может быть выражен как в окисной, так и в атомной форме. Эти методы подразделяются на две группы: 1) методы, основанные на сравнении весовых содержаний окислов или атомов (весовые методы); 2) методы, учитывающие объемные соотношения сравниваемых пород (объемные методы).

ВЕСОВЫЕ МЕТОДЫ

Группа весовых методов объединяет как методы прямого сравнения химических анализов пород, так и методы сравнения с введением дополнительных коэффициентов. Наиболее характерными из них являются следующие.

Метод прямого сравнения

В основе метода лежит прямое сравнение химического состава материнской и выветренной пород, выраженного в весовых процентах окислов, реже элементов. Этот метод может быть применен для изучения подвижности элементов (окислов) лишь в очень редких случаях, когда происходит незначительное выщелачивание пород (с уменьшением объемного веса $< 2\%$) или имеет место сбалансированная миграция элементов. В случае несоблюдения этого условия получаемые ошибки могут быть настолько велики, что исказится не только количественная, но и качественная характеристика процесса. В общем случае метод не применим для изучения миграции элементов в коре выветривания. Это положение может быть пояснено следующим примером.

Мы имеем 1 см^3 горной породы весом $2,4 \text{ г}$ и состава: Fe_2O_3 — 50% , Al_2O_3 — 25% , SiO_2 — 25% , т. е. в нем содержится $1,2 \text{ г}$ Fe_2O_3 (50% от $2,4 \text{ г}$), $0,6 \text{ г}$ Al_2O_3 (25% от $2,4 \text{ г}$) и $0,6 \text{ г}$ SiO_2 (25% от

2,4 г). Допустим, что в процессе выщелачивания из породы было удалено 0,3 г Fe_2O_3 (25% его общего содержания) и 0,3 г SiO_2 (50% его общего содержания), количество глинозема осталось неизменным, т. е. 0,6 г. В связи с выносом части вещества и сохранением прежнего объема 1 см^3 выветренной породы уже весит не 2,4 г, а всего лишь 1,8 г (0,9 г Fe_2O_3 , 0,6 г Al_2O_3 и 0,3 г SiO_2). Химический состав этой породы, выраженный в весовых процентах, будет: 50% Fe_2O_3 , 33,3% Al_2O_3 и 16,7% SiO_2 .

Сравнивая химический состав выветренной и исходной породы, выраженный в весовых процентах, мы приходим к следующим выводам (табл. 8):

1) железо из породы не выносилось (в обоих пробах содержится по 50% Fe_2O_3);

2) наблюдается существенный привнос алюминия (количество Al_2O_3 возросло на 40% по сравнению с содержанием его в коренной породе);

3) процесс выветривания характеризуется выносом кремния (количество SiO_2 сократилось на 40%).

Как видно, ни один из этих выводов не соответствует действительности.

Таблица 8

Расчет модели породы по методу прямого сравнения

Окислы	Химический состав, вес. %		Баланс, %
	коренной породы	выветренной породы	
Fe_2O_3	50,0	50,0	Стабильно
Al_2O_3	25,0	33,3	40
SiO_2	25,0	16,7	40

В литературе имеются многочисленные ошибочные расчеты миграции вещества по методу прямого сравнения. Так, например, в интересной статье А. Б. Ронова, Ю. А. Балашова и А. А. Мигдисова [271], посвященной вопросам геохимии редкоземельных элементов в осадочном цикле, подвижность элементов предполагается оценить по изменению величины коэффициента ρ :

$$\rho = \frac{C_m + C_k}{C_m},$$

где C_m — содержание элемента в материнской породе, %;

C_k — содержание элемента в коре выветривания, %.

Положительный ρ , по утверждению авторов, указывает на вынос элемента, отрицательный — на его относительное накопление.

Сделаем расчет ρ для приводимых в статье данных о содержании TR в гранитах села Звенигородок (исходная порода — $130 \cdot 10^{-4}\%$ TR, кора выветривания — $143 \cdot 10^{-4}\%$ TR):

$$\rho = \frac{130 \cdot 10^{-4} - 143 \cdot 10^{-4}}{130 \cdot 10^{-4}} = -0,1.$$

Таким образом, как будто бы выноса TR из породы не наблюдается. Пересчитаем те же данные с учетом изменения объемного веса (γ) пород, условно приняв для гранита $\gamma = 2,7 \text{ г/см}^3$ и для элювия $\gamma = 2,0 \text{ г/см}^3$. Содержание TR в граните

$$2,7 \cdot 130 \cdot 10^{-4} = 350 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3.$$

Содержание TR в коре выветривания гранита

$$2,0 \cdot 143 \cdot 10^{-4} = 286 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3.$$

В данном случае определенно устанавливается, что в процессе выветривания из породы выносятся около 20% TR.

Метод стабильного компонента

Метод стабильного компонента основан на предположении, что ряд компонентов (элементов, окислов, минералов) в процессе выветривания не подвергается выщелачиванию и полностью сохраняется в измененной породе. Это так называемые стабильные компоненты [229, 265 и др.].

Из породообразующих окислов и соответственно входящих в их состав элементов стабильными чаще принимаются Al_2O_3 , TiO_2 , реже Cr_2O_3 , NiO , ZrO_2 . В качестве стабильного минерала может быть принят кварц или ильменит.

Пересчет химических анализов пород коры выветривания для последующего изучения миграции отдельных окислов (элементов) по этому методу производится следующим образом. Предварительно получают переходный коэффициент K путем деления содержания стабильного компонента в коренной породе на содержание этого компонента в верхней зоне коры выветривания. Затем все значения содержаний окислов (элементов) в верхней зоне коры выветривания умножают на этот коэффициент и полученные результаты сравнивают с содержаниями компонентов в коренной породе.

В приведенном выше примере, где неподвижным (стабильным) окислом является Al_2O_3 (табл. 9), расчет коэффициента K производится следующим образом:

$$K = \frac{\text{содержание } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ в коренной породе}}{\text{содержание } \text{Al}_2\text{O}_3 \text{ в верхней зоне коры выветривания}} = \\ = \frac{25}{33,3} = 0,75.$$

**Расчет модели породы по методу
стабильного компонента**

Оксиды	Химический состав, вес. %			Баланс, %
	материнской породы	верхней зоны коры выветривания		
		без учета коэффици- ента K	с учетом коэффици- ента K	
Fe_2O_3	50,0	50,0	37,5	—25
Al_2O_3	25,0	33,3	25,0	—
Si_2O_3	25,0	16,7	12,5	—50

Как следует из табл. 9, в разобранным нами примере баланс привноса — выноса вещества, рассчитанный методом стабильного компонента, полностью соответствует заданным параметрам.

К сожалению, этот метод может быть использован лишь при твердой уверенности, что выбранный стабильный компонент действительно является неподвижным и, более того, количество его в разрезе выветривающейся породы было постоянным. Поскольку эти условия выполняются весьма редко, то, естественно, метод стабильного компонента может быть применен в ограниченном числе случаев.

При выборе стабильного компонента следует стремиться взять компонент, содержащийся в породе в значительном количестве, ибо в этом случае колебания его содержания в коренной породе не будет столь существенны. Например, если в коренной породе Al_2O_3 содержалось 20%, а в породе зоны, подвергшейся выветриванию, — 18%, ошибка в расчетах составит только 10%. В то же время, если за стабильный окисел принять, например, Cr_2O_3 , содержание которого в неизменной породе 0,6%, а в породе зоны, подвергшейся выветриванию, — 0,4%, ошибка в расчетах уже составит 33,3% (!). При столь больших ошибках применение метода стабильных окислов, очевидно, лишено всякого смысла.

В определенных условиях удачными оказываются расчеты подвижности по стабильному минералу, как-то: по кварцу в каолиновом элювии на гранитах, ильмениту в глинистом элювии кимберлитов и др. Эти расчеты производятся тем же путем.

При использовании метода стабильных компонентов следует иметь в виду, что этот метод не учитывает контракцию пород и их удельный вес.

ОБЪЕМНЫЕ МЕТОДЫ

Миграция окислов есть процесс, происходящий в определенном пространстве, поэтому, очевидно, изучение его необходимо вести путем сравнения изообъемных, а не изовесовых величин.

Именно это положение лежит в основе группы объемных методов.

Все объемные методы предполагают предварительный пересчет результатов химических анализов, выраженных в весовых процентах, на объемные величины. В общем случае, оперируя только объемными величинами, можно судить о подвижности того или иного окисла (элемента).

Пересчеты на объемные содержания результатов химических анализов пород зоны гипергенеза впервые произвел в 1907 г. Ф. Л. Рансом при изучении свежих и измененных дацитов [440]. Несколько ранее сходные пересчеты применил В. Линдгрэн при анализе материалов по метасоматическим преобразованиям пород [426]. В Советском Союзе объемные методы при анализе метасоматических процессов впервые применил Н. И. Наковник [213].

В 1954 г. этот метод в несколько измененном виде был использован нами при расчетах подвижности элементов в корях выветривания Западного Казахстана [208] и Дальнего Востока [209]. Сходные методы пересчета были предложены Н. М. Страховым (метод абсолютных масс) и Н. А. Лисицыной [182].

Все упомянутые исследователи применяли для пересчетов на объемные содержания результатов химических анализов, выраженных в весовых процентах окислов, окисно-объемные методы. Наряду с окисно-объемными существует большая группа атомно-объемных методов, которые в последние годы начали широко использоваться специалистами, занимающимися процессами метасоматоза.

Поскольку формирование коры выветривания является процессом существенно метасоматическим, то эти методы могут быть применены и при анализе миграции элементов при гипергенезе.

Атомно-объемные методы чаще используются при решении специальных задач, например при выявлении особенностей вхождения элементов в решетки различных минералов, рассмотрении поведения кислорода и количественном подсчете миграции атомов. В общем же случае для изучения процессов миграции окислов (элементов) вполне достаточно применения окисно-объемного метода.

Впервые атомно-объемные пересчеты были применены Дж. Эллисом [409], который рассчитывал число атомов в 1 см^3 породы. В дальнейшем к подобному же способу учета баланса вещества пришел В. Г. Боголепов [31], предложивший рассчитывать число ионов в условном объеме $10\,000 \text{ \AA}$ («стандартная ячейка»).

Современный вид атомно-объемного метода сформировался в последующие годы в работах В. Г. Боголепова [31], Ю. В. Казыцына [151] и затем В. А. Рудника, который наиболее полно и обстоятельно разработал его теоретические основы [273—275].

Методы, основанные на сравнении объемных величин при метасоматозе, исходят из правила «равных объемов», установленного В. Линдгреном [426, 427]. При изучении процессов выветривания это правило не является столь очевидным и сохранение выветренной породой первоначального объема каждый раз необходимо доказывать. Весьма убедительным доказательством обычно является сохранение в элювии реликтов структуры и текстурных особенностей породы, остатков фауны и флоры, реликтовых минералов и др.

Ниже приводится описание пересчетов по окисно-объемному и атомно-объемному методам.

Окисно-объемный метод

Этот метод предполагает пересчет результатов химических анализов, выраженных в весовых процентах, на окисные концентрации, т. е. на содержания отдельных окислов в кубическом сантиметре породы.

Если объем породы в процессе выветривания не претерпел существенных изменений, т. е. сократился или увеличился не более чем на 2%, то для пересчета результатов химических анализов на концентрации можно пользоваться следующей формулой:

$$N = \frac{P\gamma}{100},$$

где N — концентрация окисла, г/см³;

P — содержание окисла, %;

γ — объемный вес породы, г/см³.

Как следует из формулы, для пересчета надо знать объемный вес породы. Для определения последнего берется порода, лишенная гигроскопической влаги, т. е. высушенная при +105°С, так как обычно в химических лабораториях вода (гигроскопическая влага) или совсем не определяется, или выносится за сумму определяемых окислов.

Пересчет химических анализов модели пород на концентрации выглядит следующим образом (табл. 10).

В случае нарушения структуры и соответственно изменения первичного объема породы вычисление первоначального объемного веса образца иногда удается провести по компоненту (окислу, элементу, минералу), который практически не подвергался выщелачиванию и не был привнесен извне — по стабильному компоненту. Расчет проводится по следующей формуле:

$$\gamma_1 = \frac{N_M \cdot 100\%}{P_M},$$

где γ_1 — первоначальный объемный вес выветренной породы до нарушения ее структуры, г/см³;

N_M — концентрация стабильного компонента в материнской породе, г/см³;

P_M — содержание стабильного компонента в выветренной породе с нарушенной структурой, %.

Таблица 10

Расчет модели породы по окисно-объемному методу

Образец	Объемный вес, г/см ³	Содержание окислов			Σ
		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
Коренная порода	2,4	50 ¹	25	25	100
		$\frac{1,200}{0,900}$	$\frac{0,600}{0,600}$	$\frac{0,600}{0,300}$	$\frac{2,40}{1,800}$
Выветренная порода . . .	1,8	50	33,3	16,7	100
		$\frac{0,900}{0,600}$	$\frac{0,600}{0,600}$	$\frac{0,300}{0,300}$	$\frac{1,800}{1,800}$
Баланс	{ в г/см ³ в % к содержанию в ко- ренной породе	0,300	Стабильно	0,300	0,600
		25	.	50	25.

¹ В числителе приведено содержание окислов в весовых процентах, в знаменателе — концентрации в граммах на кубический сантиметр.

Атомно-объемный метод

В основе атомно-объемного метода лежит пересчет химического состава пород различных зон коры выветривания, выраженного в весовых процентах окислов, на число атомов или их вес в единице объема (обычно на 10 000 Å). Число атомов в единице объема рассчитывается по формуле

$$M = RP\gamma,$$

где M — количество атомов в стандартной ячейке;

R — коэффициент, отражающий зависимость объема и веса отдельных атомов определяемого элемента от их количества, уместяющегося в определенном объеме;

P — содержание в породе окисла с определяемым элементом (данные химического анализа), %;

γ — объемный вес породы, г/см³.

Ю. В. Казизиным и В. А. Рудником [275] были рассчитаны значения R для всех основных окислов (табл. 11).

В случае необходимости расчета количества атомов (M) для элементов, не включенных в таблицу, может быть использована формула

$$M = 6,024 \cdot 10^{-2} \cdot \gamma A,$$

где A — атомное количество элемента в химическом составе породы; находится по соответствующим таблицам С. Д. Четверикова [374] или другим подобным таблицам.

Таблица 11

Значения коэффициента R

Оксид	Коэффициент	Оксид	Коэффициент	Оксид	Коэффициент
SiO ₂	1,002	MnO	0,849	BaO	0,393
TiO ₂	0,754	K ₂ O	1,279	CuO	0,757
Al ₂ O ₃	1,182	Na ₂ O	1,944	Cr ₂ O ₃	0,793
Fe ₂ O ₃	0,754	H ₂ O	6,688	Si ₂ O	4,032
FeO	0,838	SO ₃	0,752	Co ₂ O ₃	0,726
CaO	1,074	CO ₂	1,369	Ni ₂ O ₃	0,728
MgO	1,494	P ₂ O ₅	0,849	SnO	0,447

Содержание элемента в весовом выражении в стандартной ячейке определяется по формуле

$$P = 1,66a \cdot M \cdot 10^{-24},$$

где P — содержание элемента в стандартной ячейке (10 000 Å), г;
 a — атомный вес элемента.

Пересчет рассмотренной выше модели породы по атомно-объемному методу будет выглядеть следующим образом (табл. 12).

Таблица 12

Расчет модели породы по атомно-объемному методу
 $(\gamma = 2,0 \text{ г/см}^3)$

Компонент	Содержание, вес. %	RP		Элементы	M
		катион	анион		
Fe ₂ O ₃	50	37,7	56,5	Fe	75,40
Al ₂ O ₃	25	29,55	44,31	Al	59,10
SiO ₂	25	25,05	50,10	Si	50,10
				O	301,82

**ПРИЕМЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА
ПОДВИЖНОСТИ ОКИСЛОВ (ЭЛЕМЕНТОВ)**

Результаты расчета подвижности окислов (элементов) могут быть изображены в виде таблиц, графиков и диаграмм.

Табличное выражение результатов расчета подвижности широко распространено среди исследователей, занимающихся процессами метасоматоза горных пород. Обычно сравнивают два крайних образца из ряда последовательных изменений пород (табл. 13, 14).

Химический состав образцов из коры выветривания на базальтах

№ образца	Объемный вес, г/см ³	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O	П.п.п.	Σ
Б-2	1,44	46,95 ¹	1,68	33,90	4,47	0,87	1,08	0,25	10,96	100,16
		0,676	0,024	0,490	0,063	0,012	0,015	0,002	0,158	
3-Д	2,00	53,71	1,22	18,02	9,18	6,50	4,76	2,22	4,34	99,95
		1,075	0,025	0,360	0,183	0,130	0,095	0,045	0,087	
4-Д	2,70	53,08	0,97	12,57	17,16	6,54	4,51	3,49	1,60	99,92
		1,433	0,026	0,340	0,463	0,176	0,122	0,95	0,045	

¹ В числителе — содержание окислов в весовых процентах, в знаменателе — концентрации в граммах на кубический сантиметр.

Таблица 14

Расчет миграции элементов при формировании коры выветривания на базальтах (Дальний Восток, район Советской Гавани)

Компоненты	Содержание, вес. %		Концентрации, г/см ³		Баланс, г/см ³	Привнос — вынос, % к массе окисла в коренной породе
	в коренной породе (обр. 4-Д)	в выветренной породе (обр. Б-2)	в коренной породе (обр. 4-Д)	в выветренной породе (обр. Б-2)		
SiO ₂	53,08	46,95	1,433	0,676	-0,757	-52,8
TiO ₂	0,97	1,68	0,026	0,024	-0,002	-7,6
Al ₂ O ₃	12,57	33,90	0,340	0,490	+0,150	+44,1
Fe ₂ O ₃	17,16	4,47	0,463	0,063	-0,400	-86,3
CaO	6,54	0,87	0,176	0,012	-0,164	-93,1
MgO	4,51	1,08	0,122	0,015	-0,107	-87,7
K ₂ O + Na ₂ O	3,49	0,25	0,095	0,002	-0,093	-96,8
П. п. п. (H ₂ O)	1,60	10,96	0,045	0,158	+0,113	+25,3
Σ	99,92	100,16	2,700	1,440	-1,260	—

Ряд исследователей предварительно приводят к 100% результаты химических анализов и соответственно сумму концентраций [152], но эта операция принципиально не меняет общей картины миграции вещества.

Графическое изображение результатов расчета подвижности окислов (элементов) дает более полную картину динамики процесса изменения пород, так как в этом случае мы имеем возможность последовательно изобразить стадии выветривания на основании всех имеющихся в нашем распоряжении анализов.

Имеется несколько типов графиков баланса выветривания. Наиболее распространенными являются те, у которых на оси ор-

динат откладываются значения мощности коры выветривания в метрах, а на оси абсцисс — содержания окислов в граммах на кубический сантиметр (рис. 17, а).

В 1964 г. Г. В. Куликова предложила изображать баланс выветривания на графике в координатах: ось абсцисс — мощность коры выветривания в метрах, ось ординат — отношение весовых содержаний

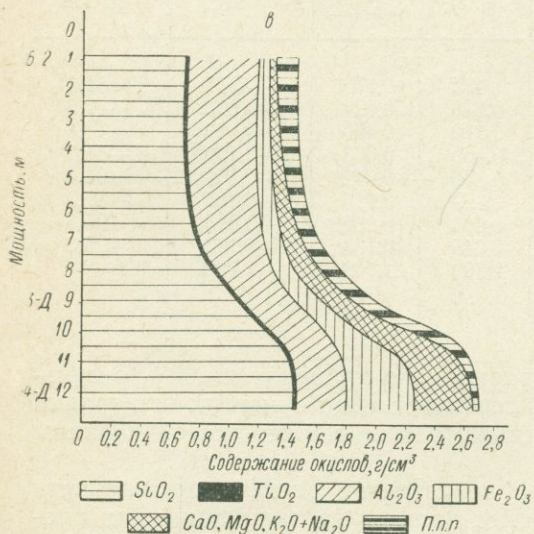
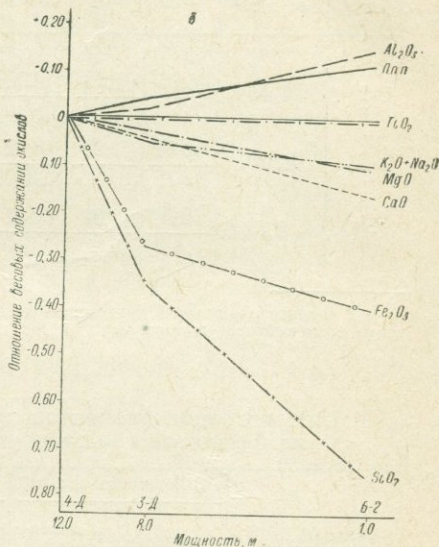
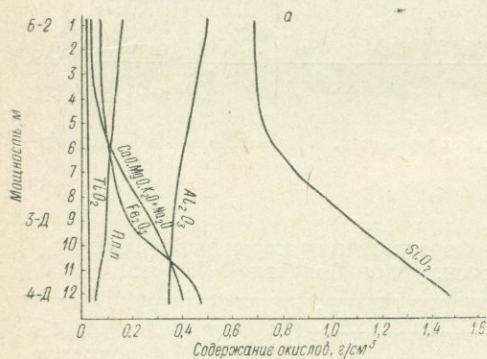


Рис. 17. Геохимические диаграммы коры выветривания на базальтах Дальнего Востока

окислов в единице объема выветренной и коренной пород профиля выветривания ($\pm \Delta N$). В случае отрицательных значений ΔN имеет место вынос вещества, в случае положительных — привнос (рис.

17, б). Недостатком такого изображения является невозможность зрительного восприятия всей картины преобразования породы, включая и изменения объемного веса.

Наиболее наглядный прием изображения баланса выветривания — геохимические диаграммы. Для их построения предварительно производится пересчет всей серии химических анализов по разрезу коры выветривания на концентрации (табл. 14) и затем на основании этих данных в координатах мощность коры выветривания в метрах — содержание окислов в граммах на кубический сантиметр вычерчивается диаграмма (рис. 17, в).

На диаграмме для большей наглядности могут быть показаны: граница нарушения реликтовых структур (уплотнения породы), интервалы и направления выноса окислов (элементов), состав пород, перекрывающих кору выветривания, и др.

АНАЛИЗ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ В УСЛОВИЯХ ВЫВЕТРИВАНИЯ

В коре выветривания элементы попадают в условия, отличные от существовавших в период формирования материнской породы. Связи, возникавшие между элементами, например, при кристаллизации магматического расплава, в коре выветривания уже не являются определяющими, в результате прочные ранее ассоциации здесь распадаются и возникают новые, свойственные той или иной геохимической обстановке. Важным показателем условий и интенсивности процесса выветривания служит характер связей между элементами, возникающих на определенных этапах выветривания и в конкретных условиях.

Анализу связей элементов в различных условиях земной оболочки посвящена весьма обширная литература. Следует отметить работы Н. М. Страхова [324], А. П. Виноградова [65], Ю. К. Буркова [44], а непосредственно по корам выветривания — А. Б. Ронина и А. А. Мигдисова [272], Н. А. Лисицной [182, 183], А. И. Перельмана [229]. В работах этих и ряда других авторов применяются различные приемы количественной оценки ассоциаций элементов и выявления их связей в осадочном цикле.

Наиболее простой способ обобщения материалов — объединение в группы элементов или соединений, сходных по поведению их в определенных условиях литогенеза. Таковыми являются триады $Al - Fe - Mn$ и тетрада $P - CaCO_3 - MgCO_3 - SiO_2$ [323], группа элементов-гидролизатов [272] и др. Подобное объединение обычно сопровождается качественной характеристикой связей между элементами.

Для количественной оценки степеней связи между элементами используют коэффициенты (модули), отражающие корреляционные связи элементов на том или ином этапе процесса выветривания. Так, Н. М. Страхов, Э. С. Залманзон и М. А. Глаголева путем количественной оценки поведения ряда рассеянных эле-

ментов и соотношений между ними установили типы их распределения и доказали связь этих типов с определенными физико-географическими обстановками [327]. А. Б. Ронов и А. А. Мигдиков [272], изучая поведение элементов-гидролизатов (Al, Ga, Zr, Hf, Nb, Ta, Th) в коре выветривания путем построения корреляционных диаграмм, выяснили поведение этих элементов, а также корреляцию их в разнофациальных типах кор выветривания. Б. А. Тюрин [340] предложил использовать для анализа бокситоносных отложений отношение $Al_2O_3:TiO_2$ (титановое число).

Развитие анализа корреляционных связей долгое время тормозилось невозможностью проведения во время этих работ огромного количества счетно-вычислительных операций (десятки и сотни тысяч). Внедрение в практику геологических лабораторных работ быстродействующих счетно-вычислительных машин в корне изменило положение [44, 67].

За последние годы Ю. К. Бурковым проведены интересные исследования в области изучения степеней упорядоченности и согласованности распределения концентраций малых элементов в осадочных толщах. Результаты этих исследований изложены ниже.

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ
МИГРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К КОРАМ ВЫВЕТРИВАНИЯ**

При геохимических исследованиях кор выветривания большое значение имеет оценка миграционных свойств элементов, выявление рядов их относительной подвижности, а также изучение характера связей между элементами и выделение ассоциаций этих элементов. Для получения объективных оценок рядов подвижности и ассоциаций элементов необходимо применение в геохимии количественных измерений степени связи между элементами и, в частности, применение корреляционного статистического анализа. В настоящее время в отделе математических методов ВСЕГЕИ разработана методика вычисления на ЭВМ количественных характеристик рядов относительной подвижности и ассоциаций элементов, основанная на этом виде анализа и получившая название метода многократной корреляции и стохастической модели ряда подвижности. Теоретические положения, являющиеся основой данного метода, изложены в работах Ю. К. Буркова [44], Л. И. Боровикова и Ю. К. Буркова [36].

Применение метода многократной корреляции позволяет выявлять в пределах каждого конкретного изучаемого геологического объекта «иерархию взаимосвязей элементов» и на этом основании определять частные ассоциации, обусловленные связями первого порядка, объединяющие их более общие ассоциации второго порядка, еще более крупные ассоциации третьего порядка и т. д., вплоть до установления наиболее общих (ведущих) ассоциаций (последние, как правило, достаточно четко очерчиваются корреляциями третьего, четвертого, реже пятого—десятого порядков).

В качестве иллюстрации применения метода многократной корреляции рассмотрим данные, полученные нами при исследовании предвизейской коры выветривания в районе верхнего течения р. Вычегды (Южный Тиман).

В геологическом строении осадочного чехла этого района принимают участие отложения девонского и каменноугольного возраста. Фаменский ярус верхнего девона мощностью до 200 м сложен в основном карбонатными породами — известняками и доломитами с прослоями доломитизированных известняков. Лишь в верхней части разреза в толще карбонатных пород появляются

маломощные прослои зеленовато-серого известковистого песчаника и серо- и голубовато-зеленой известковистой глины. Самая верхняя часть яруса в пределах района (рис. 18) сложена такими глинами. Контакт их с подстилающими карбонатными породами иногда резкий, чаще же постепенный за счет увеличения в карбонатной толще мощности и количества глинистых слоев.

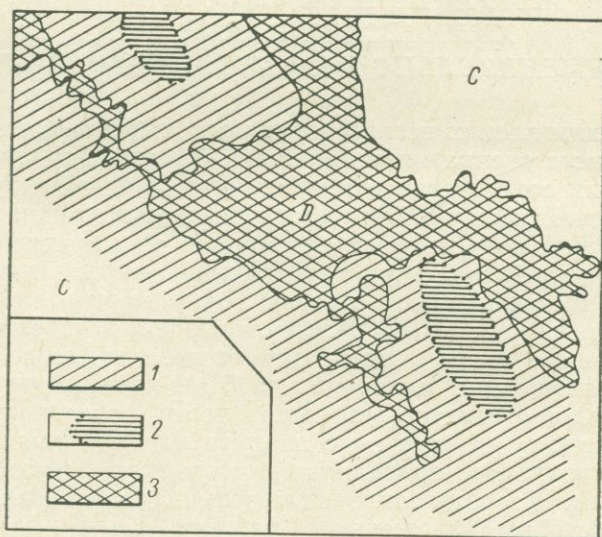


Рис. 18. Схема распространения бокситоносных отложений и коры выветривания:

1 — залегание бокситоносной пачки на коре выветривания; 2 — залегание бокситоносной пачки на карбонатных породах; 3 — бокситоносная пачка и кора выветривания размыты

На фаменских породах в пределах описываемого района залегают отложения визейского яруса нижнего карбона, в составе которого отсутствуют осадки бобриковского горизонта. Тульский горизонт в своей нижней части представлен бокситоносной пачкой мощностью до 15 м, содержащей промышленные залежи боксита, а в верхней части — сероцветной глинисто-алевритовой пачкой мощностью до 50 м, содержащей прослои гумусового угля. Алексинский горизонт в нижней части представлен пестроцветной глинисто-алевритовой пачкой мощностью до 20 м, а в верхней части — карбонатными породами с прослоями известковистых глин общей мощностью до 15 м.

Все вышележащие горизонты визе и намюрский ярус общей мощностью до 100 м сложены карбонатными породами с редкими маломощными прослоями известковистых глин.

Начало каменноугольного периода на описываемой территории ознаменовалось регрессией девонского моря и установлением континентального режима. Из-под уровня моря оказался выведенным весь район, сложенный верхнедевонскими отложениями. Жаркий и влажный климат каменноугольного периода обусловил развитие процессов химического выветривания, приведших к образованию на глинистых породах элювия, а в карбонатной толще — карста.

Девонские глинистые породы в свежем состоянии имеют серо-зеленый или голубовато-зеленый цвет, слабоизвестковисты, с ясно выраженной сланцеватостью, тонкопелитовые с незначительным содержанием алеврита. По минеральному составу они гидрослюдистые, в редких случаях с примесью монтмориллонита.

В процессе выветривания глины постепенно меняют свою окраску от серо- и голубовато-зеленой до грязно-белой. Текстура из сланцеватой становится брекчиевидной, а затем комковатой. Минеральный состав глин также меняется: из гидрослюдистых они постепенно переходят в гидрослюдисто-каолинитовые, а затем в каолинитовые. Самая верхняя часть коры выветривания сложена исключительно каолинитовыми глинами грязно-белого цвета. Средняя наблюдающаяся мощность глин вместе с развитой на них корой выветривания обычно составляет 2,5 м, однако местами они выклиниваются почти полностью, а на отдельных участках мощность их достигает 6—7 м.

Бокситоносная пачка сложена каолинитовыми глинами и аргиллитами белого и светло-серого цветов, содержащими боксит каолинит-бемитового состава. Текстура этих пород обычно неяснослоистая, иногда намечается косая слоистость; структура более разнообразна: часто пелитоморфная или афанитовая, несколько реже оолитовая или бобово-пизолитовая. Сформировались эти породы, по-видимому, в континентальных водоемах.

Средняя мощность бокситоносной пачки составляет 3 м. На повышениях древнего рельефа пачка полностью выклинивается, а в эрозионных впадинах ее мощность достигает 15 м. В последнем случае породы, слагающие пачку, содержат до 50% и более алевритового материала преимущественно кварцевого состава.

Бокситоносная пачка в пределах описываемого района залегает обычно на размытой поверхности коры выветривания. В редких скважинах удается проследить на границе двух толщ наличие глинистого базального конгломерата, указывающего на то, что некогда мощность подстилающей бокситоносную пачку коры выветривания была значительно большей. В глубоких впадинах довизейского рельефа, где кора выветривания в связи с развитием эрозионных процессов не образовывалась, бокситоносная пачка залегает непосредственно на карбонатных породах верхнего девона.

По данным спорово-пыльцевого анализа [344] установлен нижнегульский возраст пород бокситоносной пачки. Следовательно, возможный возраст коры выветривания определяется как турнейско-бобриковский.

С целью изучения пород коры выветривания и бокситоносной пачки по предлагаемой методике из кернов буровых скважин было отобрано следующее количество проб: из девонских невыветренных глинистых пород — 27, из пород коры выветривания — 39, из пород бокситоносной пачки — 105. Спектральным анализом в этих пробах были оценены концентрации титана, циркония, галлия, хрома, ванадия, бария, никеля, свинца, стронция, марганца и цинка. Результаты спектроскопических определений обработаны на ЭВМ. В итоге обработки получены характеристики рядов подвижности и ассоциаций химических элементов для невыветренных глинистых пород, их коры выветривания и пород бокситоносной пачки, которые и рассматриваются ниже.

ДЕВОНСКИЕ НЕВЫВЕТРЕННЫЕ ГЛИНИСТЫЕ ПОРОДЫ

Результаты вычисления количественных оценок ассоциаций химических элементов в глинистых породах девона представлены на рис. 19. Как видно из этих данных, в анализируемых породах выделяются две ведущие ассоциации химических элементов: первая представлена цирконием, хромом, титаном, ванадием, никелем, галлием, свинцом, цинком и стронцием, а вторая — барием и марганцем, которые отделены от каждого из элементов первой ассоциации отрицательными корреляционными связями.

Изучение интенсивности положительных корреляционных связей между элементами позволяет выявить внутреннюю структуру каждой из двух названных ассоциаций.

Как видно из рис. 19, в пределах первой ассоциации выделяется группа наиболее тесно связанных между собой элементов, представленная цирконием, хромом, титаном, ванадием и никелем (эти элементы образуют друг с другом положительные корреляционные связи второго и третьего порядков).

К рассмотренной группе присоединяются галлий, образующий со всеми ее элементами положительные связи четвертого порядка, и несколько менее тесно связанный с перечисленными элементами свинец, образующий с ними (включая галлий) положительные корреляционные связи пятого порядка. Цинк относительно слабо связан как с цирконием, хромом, титаном, ванадием и никелем, так и с галлием и свинцом (связи пятого и шестого порядков). Стронций образует со всеми элементами первой ассоциации, за исключением цинка, относительно слабые положительные связи шестого и седьмого порядков. С цинком же этот элемент

связан корреляционной связью пятого порядка и образует с ним обособленную подгруппу.

Вторая ассоциация химических элементов представлена барием и марганцем. Эти элементы относительно слабо связаны

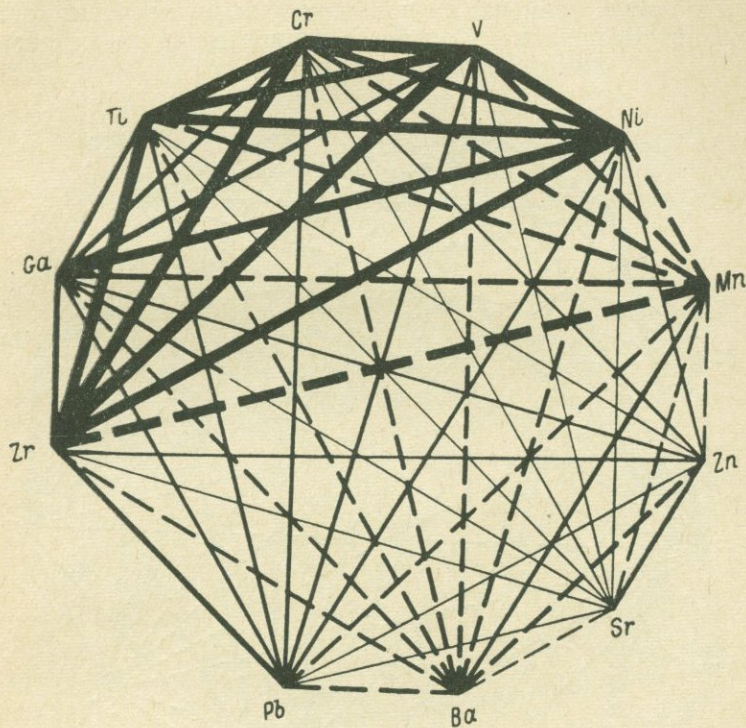


Рис. 19. Ассоциации химических элементов в девонских невыветренных глинистых породах

Сплошными линиями соединены элементы, имеющие между собой положительные корреляционные связи; штриховыми линиями — элементы, имеющие друг с другом отрицательные корреляционные связи. Толщина линии пропорциональна силе связей: наиболее жирные линии отвечают корреляционным связям второго порядка, наиболее тонкие — связям восьмого и более высоких порядков

между собой (положительная корреляционная связь пятого порядка) и отделены от всех элементов первой ассоциации отрицательными корреляционными связями третьего — пятого порядков.

КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ ДЕВОНСКИХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Как видно из данных, приведенных на рис. 20, в образованиях коры выветривания выделяются две ведущие ассоциации элементов: первая представлена цирконием, хромом, титаном, ванадием, никелем, галлием и свинцом, вторая — стронцием, барием, цинком и марганцем.

В пределах первой ассоциации особенно четко очерчивается группа элементов, состоящая из циркония, хрома и титана (в пределах этой группы цирконий и хром связаны несколько более тесно и образуют самостоятельную подгруппу). Ванадий и никель связаны с этими элементами положительными корреляционными связями пятого порядка. Ко всем перечисленным элементам при-

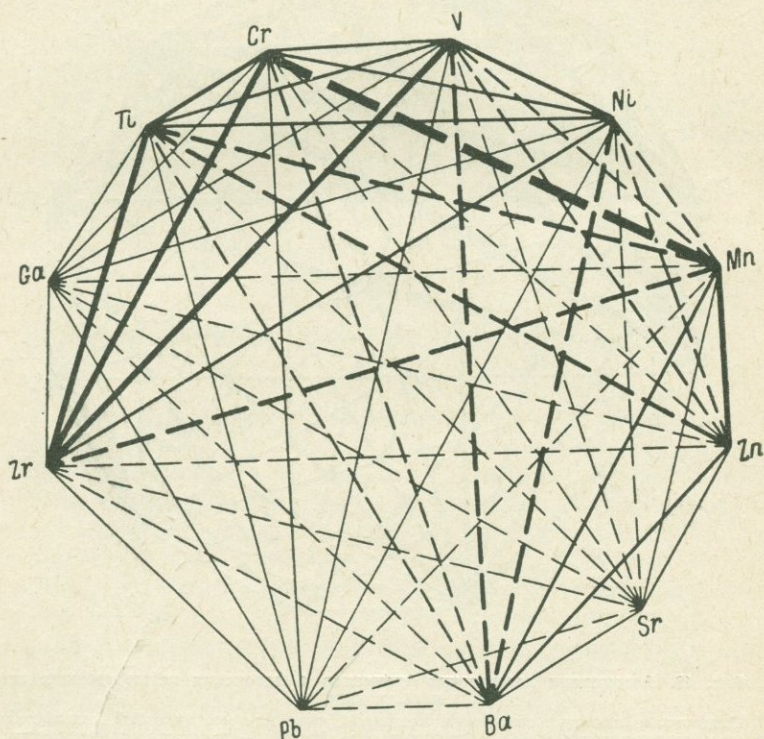


Рис. 20. Ассоциации химических элементов в коре выветривания девонских глинистых пород

Условные обозначения те же, что и на рис. 19

соединяются галлий и свинец (корреляционные связи седьмого и восьмого порядков).

В составе второй ассоциации наиболее четко очерчена группа, представленная цинком и марганцем, образующими между собой положительную корреляционную связь четвертого порядка. К ним присоединяется барий, связанный с цинком и марганцем корреляционной связью шестого порядка. В свою очередь, с барием образует положительную корреляционную связь седьмого порядка стронций.

Все элементы второй ассоциации отделены от элементов первой ассоциации отрицательными корреляционными связями, при-

чем в наибольшей степени названный процесс обособления затрагивает цинк и марганец, которые отделяются от циркония, хрома, титана, ванадия и никеля наиболее высокими по значениям отрицательными корреляциями.

ПОРОДЫ БОКСИТОНОСНОЙ ПАЧКИ

Как видно из рис. 21, в породах бокситоносной пачки выявляются две основные ассоциации химических элементов: первая представлена цирконием, хромом, титаном, галлием, ванадием,

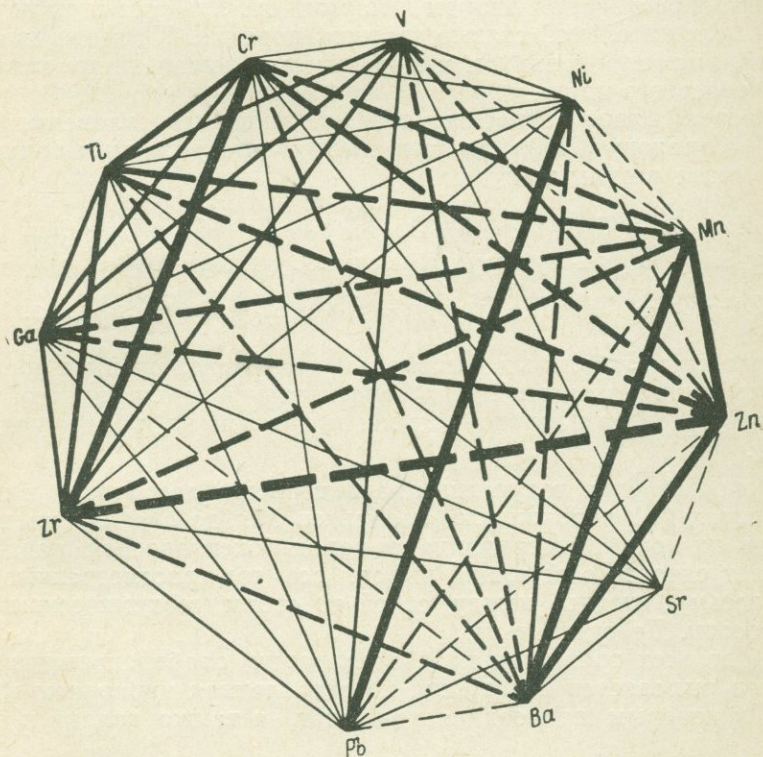


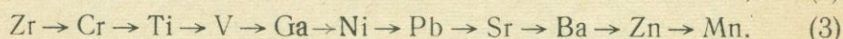
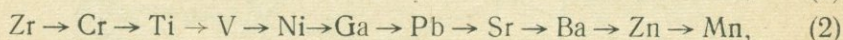
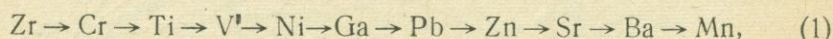
Рис. 21. Ассоциации химических элементов в породах бокситоносной пачки
Условные обозначения те же, что и на рис. 19

свинцом, никелем; вторую образуют барий, цинк и марганец. Стронций занимает промежуточное положение между первой и второй ассоциациями, образуя с каждой из них слабые положительные и отрицательные связи.

В пределах первой ассоциации выделяется группа элементов, в состав которой входят цирконий, хром и титан, связанные между собой положительными связями третьего и четвертого порядков (как и во всех предыдущих случаях, цирконий и хром образуют между собой более тесную положительную связь, нежели цирконий с титаном или хром с титаном). К этим трем элементам корреляционной связью пятого порядка присоединяются галлий и ванадий. Вторую группу элементов в пределах рассматриваемой ассоциации слагают объединяемые корреляцией четвертого порядка свинец и никель, относительно слабо связанные с остальными элементами первой ассоциации (корреляционные связи седьмого порядка).

В составе второй ассоциации в первую очередь выделяется группа, образованная цинком и марганцем. Эти элементы объединены положительной связью третьего порядка. К ним примыкает барий, имеющий с цинком и марганцем положительные корреляции четвертого порядка.

Расчет рядов относительной подвижности элементов (по Н. М. Страхову [322]) для всех трех рассматриваемых толщ дал следующие результаты:



Здесь в горизонтальных рядах элементы расположены в последовательности, отвечающей их относительной геохимической подвижности (слева направо — от менее подвижных к более подвижным).

Сопоставление полученных характеристик ассоциаций и рядов относительной подвижности элементов для девонских глинистых пород, их коры выветривания и пород бокситоносной пачки позволяет сделать следующий вывод: все три рассмотренные толщи весьма сходны между собой по своим геохимическим особенностям. Действительно:

1) во всех трех толщах в ассоциации слабоподвижных элементов выделяется подгруппа, представленная цирконием и хромом, к которым присоединяется титан, а также галлий и ванадий;

2) во всех трех рассмотренных толщах в ассоциации подвижных элементов присутствуют барий и марганец;

3) во всех трех толщах стронций занимает по своей относительной подвижности промежуточное положение между инертными и подвижными элементами, образуя с теми и другими слабые положительные или отрицательные связи.

Таким образом, в рассматриваемых толщах наблюдаются значительные отличия в поведении только трех из одиннадцати изу-

ченных химических элементов, а именно — цинка, свинца и никеля. Закономерности поведения этих элементов будут рассмотрены ниже, а пока отметим, что установленное сходство невыветренных глинистых пород девона, их коры выветривания и пород бокситоносной пачки является, по-видимому, неслучайным и может свидетельствовать о тесной генетической связи как между образованиями коры выветривания и отложениями девона, с одной стороны, так и бокситоносными породами и корой выветривания — с другой. Сопоставление геохимических характеристик образований коры выветривания, формировавшейся за счет отложений девона, и отложений бокситоносной толщи, формировавшейся, очевидно, за счет образований коры выветривания, позволяет проследить на конкретном примере особенности поведения изученных химических элементов при процессах формирования кор выветривания и бокситов.

Приведенные выше соображения дают возможность рассматривать формирование коры выветривания и образование бокситов в пределах изученного региона как единый (или, по крайней мере, во многом единый) геохимический процесс и выявить его особенности.

Как видно из рис. 19 и 20 и формул (1) и (2), в образованиях коры выветривания в целом сохраняется характерная для невыветренных пород девона группа элементов, представленная цирконием, хромом, титаном, ванадием, никелем, галлием и свинцом. Однако в пределах этой группы происходят некоторые изменения. Так, существенно ослабляется сила положительных связей между всеми элементами, входящими в состав этой группы. С особенной интенсивностью этот процесс проявляется в отношении циркония, хрома, титана, ванадия и никеля. При этом относительно высокие, хотя и существенно ослабленные по сравнению с девонскими невыветренными породами связи сохраняются только между цирконием, хромом и титаном (с более интенсивной связью между цирконием и хромом). Ванадий и никель отдаляются от циркония, хрома и титана и образуют самостоятельную подгруппу.

Еще более существенные изменения в распределении элементов по ассоциациям и относительной подвижности происходят при переходе от невыветренных пород к образованиям коры выветривания в группе более подвижных элементов (имеются в виду элементы, занимающие в сопоставляемых рядах положение направо от свинца). Как видно, наиболее резко меняется положение цинка. Этот элемент разрывает свои относительно слабые связи с группой, представленной цирконием, хромом, титаном, ванадием, никелем, галлием и свинцом, и образует тесные корреляционные связи с более подвижным марганцем. Барий не меняет своего относительного положения, сохраняя положительную связь как с марганцем, так и с присоединившимся к нему

цинком. При переходе от невыветренных пород к образованиям коры выветривания несколько увеличивается относительная подвижность стронция, который образует слабые связи с более подвижным в данных условиях барием.

Переход от образований коры выветривания к бокситам знаменуется дальнейшими изменениями относительного положения некоторых элементов в ряду подвижности и распределения их по ассоциациям. Как видно из сопоставления данных, приведенных на рис. 20 и 21, и формул (2) и (3), эти изменения затрагивают главным образом группу относительно слабоподвижных элементов, представленную цирконием, хромом, ванадием, галлием, никелем и свинцом. Здесь практически не меняется поведение только трех элементов — циркония, хрома и титана, которые сохраняют между собой тесные положительные связи (более интенсивные для циркония и хрома). По сравнению с корой выветривания в бокситах существенно возрастает относительная подвижность никеля. Резко ослабевают связи этого элемента с цирконием, хромом и ванадием, и он образует вместе со сходным с ним по подвижности свинцом четко очерченную подгруппу, весьма слабо связанную с остальными элементами. Возрастает в бокситах и относительная подвижность ванадия. В пределах ассоциации относительно подвижных элементов отмечается дальнейшее возрастание интенсивности силы связи между цинком и марганцем, к которым присоединяется менее подвижный по сравнению с ними барий. Положение стронция при переходе от образований коры выветривания к бокситам практически не меняется.

Резюмируя приведенное выше, можно прийти к следующим выводам о геохимических особенностях процессов формирования коры выветривания и бокситоносных отложений в рассматриваемом районе.

1. Процесс перехода от невыветренных глинистых отложений девона к образованиям коры выветривания и затем к породам бокситоносной толщи характеризуется частичным распадом ассоциации, представленной цирконием, хромом, титаном, ванадием, никелем, галлием, свинцом, цинком и стронцием. Эту ассоциацию вначале покидает цинк, присоединяющийся к более подвижным элементам, затем от нее отделяются приобретающие более высокую относительную подвижность свинец и никель и, наконец, отделяется от остальных слабоподвижных элементов ванадий. Эти процессы сопровождаются постепенным и закономерным ослаблением всех связей почти между всеми слабоподвижными элементами.

2. Наряду с частичным распадом ассоциации слабоподвижных элементов процесс перехода от невыветренных пород к коре выветривания и бокситам характеризуется относительным возрастанием силы связей в пределах ассоциаций относительно легкоподвижных элементов. Это явление постепенно ведет к формиро-

ванию четко очерченных групп элементов типа цинк — марганец (с присоединившимся к ним барием) и свинец — никель. В конечном счете процесс бокситообразования обеспечивает тенденцию к обособлению четырех групп элементов: а) относительно легкоподвижной группы, представленной цирконием, хромом и титаном с присоединившимися к ним галлием и ванадием; б) более подвижной группы, представленной свинцом и никелем; в) еще более подвижного строения и г) обладающей наибольшей подвижностью по сравнению со всеми перечисленными элементами группы цинка и марганца с присоединившимся к ним барием.

Полученные результаты показывают перспективность применения рассмотренной методики для изучения особенностей поведения элементов при процессах глубокого химического выветривания и бокситообразования.

РОЛЬ ПАЛЕОБОТАНИКИ В ВОССТАНОВЛЕНИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОШЛОГО

При решении вопросов о восстановлении условий существования древних растительных комплексов, о древних ландшафтах, а также о характере местообитаний, в которых существовали те или иные группы растений, обычно исходят из принципа актуализма, т. е. из сравнения древних видов с их современными аналогами и принятия предпосылки, что и экологические требования у них были аналогичными.

Совершенно естественно, что при использовании этого принципа следует соблюдать осторожность. Если для относительно близкого к нам времени он по большей части приемлем, то для более древних эпох его применять можно лишь с большой осмотрительностью, так как чем далее от наших дней, тем труднее подыскать для той или иной древней группы современную, сходную с ней по условиям обитания. Но даже при восстановлении палеоклиматических условий сравнительно недавнего времени (мел — неоген) слишком последовательное и прямолинейное применение принципа актуализма может привести к ошибкам, поскольку не всегда систематическое сходство видов может быть свидетельством аналогичных условий обитания.

Насколько осторожно следует подходить к решению вопросов о восстановлении условий существования древних растений с позиций актуализма, можно судить, например, на основании изучения современных ксерофитов. Как известно, ксерофильный облик имеют растения не только жарких засушливых областей, но и некоторые арктические и бореальные растения тундр и болот. В связи с этим существует даже специальный термин «физиологическая сухость», указывающий на то, что растение страдает от недостатка воды не в связи с ее отсутствием, а ввиду невозможности ее ассимиляции либо в силу низкой температуры, либо в связи с какими-то иными причинами. Поэтому растения и засушливых местообитаний и болот, как это ни парадоксально, могут иметь одинаково ксерофильный облик (мелколистность, жестколистность, густая опушенность и т. д.). Следовательно, при решении вопроса об экологических условиях обитания древних растений, подходя с позиции актуализма, следует обращать внимание не только на их внешний облик, но и на другие палеоэкологические факторы.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАСТЕНИЯ

Таким образом, в основу определения палеоклиматов мы кладем принцип актуализма с некоторыми поправками, которые нам предоставляет практика палеогеографических работ. Поэтому вначале следует уяснить, какие климатические факторы и как именно влияют на растения и на растительные сообщества.

Растения в связи с присущей им, как и всем организмам, изменчивостью приспосабливаются к самым различным внешним условиям. Они могут существовать на различных почвах, в воде, на скалах, в пустынях, в Арктике и т. д., причем условия существования отражаются на их внешнем виде, придавая им мезофильный, ксерофильный или какой-либо другой облик.

Все многообразие условий обитания отражается и закрепляется в конечном счете в различных жизненных формах растений (деревья, кустарники, травы и т. д.). Причем, с одной стороны, растения, принадлежащие к одному и тому же семейству, могут иметь разные жизненные формы, а с другой — к одной и той же жизненной форме могут принадлежать растения различного систематического положения. Следовательно, если среда, влияя на растения, придает им характерный именно для этой среды облик, то и, наоборот, исследователь, занимающийся восстановлением палеогеографической среды по внешнему облику растений (также не без применения принципа актуализма), может восстановить условия обитания растений и их сообществ.

Главными из таких условий являются климатические, орографические, эдафические (почвы) и биотические. Нас, в связи с определением условий образования кор выветривания, интересуют более всего климатические условия. На них и возможности их определения мы в дальнейшем и заострим внимание.

Какие же компоненты климата в особенности влияют на растения? Такими компонентами являются: 1) воздух (его состав и движение), 2) влага и 3) температура.

Главные характеристики воздуха — его состав и скорость движения. Известно, что различные растения по-разному относятся к примесям, имеющимся в воздухе. Оптимально воздух состоит на $\frac{4}{5}$ из азота и на $\frac{1}{5}$ из кислорода. Смещение баланса в ту или иную сторону, а также появление других примесей в воздушном океане по-разному отражаются на различных растениях. На одних они действуют губительно или угнетающе, другие переносят изменение в составе воздуха более или менее индифферентно. Движение воздуха (ветер) влияет на растения как положительно, так и отрицательно. С одной стороны, нормальное развитие большой группы растений в значительной степени зависит от движения воздуха, с другой — слишком сильные ветры (в горах, в арктических областях) угнетающе действуют

на растения, заставляя их формировать подушкообразные и флагообразные кроны.

Влага в жизни растений играет огромную роль. По отношению к влаге различаются: *гигрофиты* — растения избыточно увлажненных мест (среди них особо выделяются *гидрофиты* — водные растения); *мезофиты* — растения, требующие средних условий увлажнения (растения лугов, мезофильных лесов); *ксерофиты* — растения засушливых местообитаний (степей, полупустынь, пустынь и др.).

Все эти растения, представляющие собой определенные жизненные формы, как уже отмечалось, могут принадлежать к различным систематическим группам. Каждой группе присущи некоторые типичные черты, позволяющие определить характер их местообитания и условия увлажнения, в которых они существуют.

Для гигрофитов (тростник — *Phragmites*, камыш — *Scirpus*, рогоз — *Typha*) характерно развитие воздухоносных полостей в стеблях и черенках листьев. У гидрофитов, погруженных целиком в воду или имеющих плавающие листья (кувшинка — *Nymphaea*, кубышка — *Nuphar*, лотос — *Nelumbo* и др.), воздухоносные полости находятся и в листьях, что способствует их плавучести. В связи с возможностью и необходимостью испарения большого количества воды у гигрофитов наблюдается обилие устьиц на единицу площади поверхности листьев. Это обстоятельство следует учитывать в особенности при восстановлении условий существования древних растений, определяемых по остаткам эпидермиса (кутикулярный анализ). Важно также отметить слабое развитие у гигрофитов проводящих элементов (сосудистых пучков) и сильную редукцию механической ткани. Это может быть замечено при изучении анатомического строения древних растений.

Ксерофиты в связи с недостатком влаги, который они постоянно испытывают, в процессе эволюции приобрели некоторые черты, помогающие им переносить трудные аридные условия. Эти черты (так называемая ксероморфная структура) характерны для различных органов и частей растений. В связи с аридными условиями обитания уменьшаются размеры листьев, листья иногда даже превращаются в колючки и чешуйки либо совсем редуцируются (род *Genista* из семейства Leguminosae). Устьица у ксерофитов размещаются обычно глубоко в ткани листа, что способствует уменьшению испарения. Листья, стебли и другие части ксерофитов часто имеют более или менее густое опушение, доходящее подчас до густовойлочного. У некоторых растений листья складываются вдоль, что опять-таки уменьшает возможность испарения (*Stipa*, *Nardus*). Наличие воскового налета и развитие толстого эпидермиса на побегах и листьях также являются характерными чертами ксерофитов.

Среди ксерофитов особо выделяется группа суккулентов — растений, обитающих в ксерофильных условиях, но запасующих

влагу в стволе, листьях и других частях (кактусы, агавы, молочай, очитки и др.). Выделяются также группы тонколистных, жестколистных и ложных ксерофитов. К последним относятся эфемеры и эфемероиды, т. е. растения, полный цикл вегетации которых (рост, цветение и плодоношение) приходится на влажное время года, после чего они либо погибают (эфемеры-однолетники), либо отмирает их наземная часть (стебель, листья) и остается лишь подземная часть (эфемероиды-многолетники).

Мезофиты занимают промежуточное положение между гигрофитами и ксерофитами. Среди них могут быть группы, стоящие ближе к ксерофитам или гигрофитам (мезоксерофиты, мезогигрофиты). В связи с этим и морфологические черты их могут быть различными.

Самыми типичными мезофитами являются обитатели борельных и широколиственных лесов (береза, липа, ясень, вяз и др.). Обычно у мезофитов листья плоские, довольно крупные, со слабо развитым эпидермисом и умеренно развитым опушением.

Мезоксерофиты часто имеют более развитое опушение на листьях (некоторые дубы, липы). Однако в ископаемом состоянии опушение на листьях практически заметить очень трудно. В связи с этим совершенно необходимо развивать такую отрасль палеоботаники, как кутикулярный анализ, которым в СССР занимаются в недостаточной степени.

Температура. Значение тепла в жизни растений огромно. Однако в процессе эволюции у растений выработались свойства, которые позволяют им существовать в резко отличных температурных условиях. Растения встречаются как в пустынях, степях и горячих источниках, так и на скалах Антарктиды. Следует подчеркнуть, что не только разные растения могут существовать при различных температурах, но и нижний и верхний температурные пределы для растений неодинаковы: одни растения обитают лишь в строго ограниченных температурных рамках, в то время как температурные пределы существования других довольно велики.

Аналогично делению растений по их отношению к влаге на три основные группы можно и по отношению к температурным условиям выделить растения, могущие переносить высокие (*термофилы*) или низкие (*криофилы*) температуры, а также растения, существующие при средних температурных условиях (*мезотермофилы*). Крайние температурные условия влияют на габитус растений приблизительно в одном и том же направлении, независимо от того, слишком ли это высокие или слишком низкие температуры.

Обычно это влияние выражается в образовании низкорослых и искривленных форм, в формировании растений — в образовании подушек, розеток, пробкового слоя на стеблях и стволах, выделении смол, опушении и т. п. Таким образом, можно отметить, что влияние крайних температур на растения выражается почти

так же, как и влияние аридных условий. Да и действительно, в конечном счете низкие или слишком высокие температуры влияют на возможности всасывания и транспирации растением влаги. Следовательно, не всегда по внешнему облику растения можно узнать, в каких условиях оно обитает — жарких и сухих или холодных.

ПОЯСНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ФОРМИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК

Поясная зональность растительности от экватора к полюсам совпадает с климатическими зонами земного шара. Чаще всего в ботанической географии различаются следующие зоны: тропическая, субтропическая, степная, лесная, тундровая, пустынно-арктическая. Каждой из этих зон присущи свои растительные формации (или классы формаций).

В тропической зоне преобладают влажнотропические леса, среди которых немаловажную роль играют мангровые леса, обитающие по берегам морей. Для тропических лесов характерны высокие деревья с крупными вечнозелеными жесткими кожистыми листьями, т. е., иначе говоря, с листьями, имеющими ксероморфную структуру. На первый взгляд это может показаться парадоксальным для лесов влажной тропической зоны, однако легко объяснимо с точки зрения сбалансирования всасывания и транспирации воды растениями.

Для тропических лесов весьма характерно наличие лиан, могущих быть представителями самых различных семейств и даже пальм (ротанговая пальма). Необходимым элементом влажных тропических лесов всегда являются эпифиты — растения, поселяющиеся на деревьях, но не паразитирующие на них. Они тоже могут принадлежать к различным систематическим группам, но наиболее известны представители семейств орхидных и бромелиевых. Температура в этих лесах колеблется в пределах 25—30° С, осадки обычно составляют 2000—4000 мм в год.

В тропической зоне развиты не только влажнотропические леса, но и более ксерофильные формации. В частности, на некоторых островах Зондского архипелага произрастают листопадные зимнезеленые леса, теряющие листву на сухой летний период. В некоторых тропических областях земного шара развиты ксерофильные саванные и колючие ксерофильные леса. У деревьев, составляющих саванные леса, листья чаще всего сильно расчленены (обычно перистые, например у акаций) и имеют различные приспособления для уменьшения испарения вплоть до опадания листочков и сохранения лишь уплощенного черешка (*Acacia melanoxylon*). Подобные леса распространены в Африке и Южной Америке (каатинга). Температуры в областях обитания этих лесов колеблется между 15 и 25° С. Осадков в год выпадает около 1500 мм.

В субтропической зоне различают влажные субтропические леса (лавровые леса), вечнозеленые субтропические леса и кустарниковые формации. Наиболее характерной областью распространения этих лесов является Средиземноморская биогеографическая область. Развита она также в Австралии, Северной Америке (Калифорния), Африке (Капская область). Лето в этих районах жаркое (средняя температура самого жаркого месяца 22—28°С), годовое количество осадков 500—750 мм, основная часть их выпадает зимой. Область распространения средиземноморской растительности в Европе расположена южнее январской изотермы в +4° и июльской в +20°.

Таким образом, если в древних комплексах растений встречается большое количество представителей семейства *Laugaseae* и некоторых других ксерофильных жестколистных растений, то можно с большим основанием сделать вывод о том, что климат времени существования этого комплекса был сходен с климатом современного Средиземноморья.

В настоящее время в Средиземноморской биогеографической области встречаются еще следующие растительные группировки: маквис (кустарники со склерофильными и эрикоидными листьями), гарига (низкорослые вечнозеленые кустарники и полукустарники), фригана (вечнозеленые кустарники с колючками и шипами). Широко распространены в Средиземноморье и группировки, состоящие из вечнозеленых дубов (*Quercus ilex*, *Q. suber* и др.).

Для степной зоны характерны травянистые ассоциации, развивающиеся в умеренном климате при сравнительно небольшом количестве осадков. При современном уровне палеоботанических исследований степные комплексы могут быть обнаружены при помощи палинологического и отчасти палеокарпологического методов. Наиболее характерным компонентом степных фитоценозов является ковыль (*Stipa*). Вероятно, только при наличии этого рода можно с уверенностью говорить, что в том или ином местонахождении были развиты степи, в то время как наличие в спорово-пыльцевых комплексах пыльцы представителей таких родов, как польнь (*Artemisia*), марь (*Chenopodium*), овсяница (*Festuca*), да еще не определенных до вида, едва ли может позволить утверждать, что они составляли степной фитоценоз. А такие утверждения от палинологов иногда можно слышать.

К степной зоне с одной стороны вплотную примыкают пустыни, а с другой — лесостепь, постепенно переходящая в лесную зону умеренных широт, состоящую из летнезеленых лесов и кустарников и хвойных лесов (тайга). Летнезеленые леса существуют в зоне, где средняя температура самого теплого месяца 13—23°С, самого холодного 6—12°С, а количество осадков составляет приблизительно 700—1000 мм в год. Для южной части зоны характерны широколиственные леса, в состав которых входят бук, дуб, клен, липа, ясень и другие породы. Для северной

части более характерны береза, осина, ольха, весьма незначительно присутствие широколиственных элементов.

Переходными от лиственных к хвойным являются смешанные леса, в которых в различных пропорциях присутствуют покрытосеменные и голосеменные растения. Хвойные леса занимают огромные пространства Северной Европы и Северной Америки. Самый теплый месяц в области распространения этих лесов имеет температуру 10—19°С, самый холодный — от +3 до —52°С.

Растительность тундровой и пустынно-арктической зон по большей части может быть отражена лишь в спорово-пыльцевых и палеокарпологических комплексах. При анализе комплексов, сходных с комплексами тундр, следует учитывать, что средняя температура у южной границы тундры не превышает +1,4°С, зима очень холодная, продолжительная, осадков немного (около 200—400 мм в год), но в связи с малой испаряемостью влажность почв высокая. Следует еще принимать во внимание наличие вечной мерзлоты.

Пустынно-арктическая зона занимает главным образом острова Ледовитого океана, а в южном полушарии — Антарктиду. Растения используют все свободные от снега и льда участки и даже иногда поселяются прямо на снегу (некоторые водоросли). Покрытосеменных очень мало (*Ranunculus*, *Papaver*, *Draba*, *Carex*), преобладают лишайники и мхи.

Таким образом, из приведенного материала видно, что поясная зональность в связи с различными температурными условиями и условиями увлажнения способствует развитию различных растительных формаций, которые в своем облике и в облике составляющих их растений в той или иной мере отражают эти условия.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ И ФОРМИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК

При восстановлении климатических условий прошлого иногда легко впасть в ошибку, если не принимать во внимание вертикальной зональности растительности, так как в какой-то мере в горах снизу вверх могут быть прослежены смены растительных комплексов наподобие тех, которые прослеживаются от экватора к полюсам. Поэтому иногда можно принять, например, комплекс среднегорной растительности за представителя бореальных лесов и наоборот. Дать точный рецепт для четкого разделения этих комплексов и избежать ошибки нельзя, так как в различных горных странах вертикальная зональность имеет свой, присущий только данной горной системе облик. Например, нижняя зона северного склона Кавказа, в районе верховьев Кубани, состоит из буковых лесов, а в Кавказском заповеднике нижняя зона представлена смешанными лесами, буковое криволесье образует здесь границу леса и альпийских лугов. В Новой Зеландии гор-

ные ледники опускаются к области распространения древовидных папоротников, а в Заилийском Алатау верхнюю границу леса образует тяньшаньская ель. Однако это не значит, что вообще следует отказаться от попытки восстановления палеоландшафтов и климатических условий прошлого.

Как пример вертикальной зональности можно привести расчленение растительности Северного Кавказа, где снизу вверх выделяются: 1) пояс субтропических лесов, 2) пояс листопадных буковых лесов, 3) пояс темнохвойных еловых и пихтовых лесов, 4) пояс субальпийских кустарников и высокотравья, 5) пояс альпийских лугов, 6) пояс приледниковой растительности. Главным фактором, способствующим образованию этих зон, является, конечно, количество тепла. Так, в Андах тропической Америки вертикальная зональность выражена следующими показателями (по В. В. Алехину и др. [4]): 1) от уровня моря до 600 м — влажные тропические леса (среднегодовая температура $\sim 27^{\circ}\text{C}$); 2) 600—1200 м — субтропические леса с древовидными папоротниками и смоковницами; 3) 1200—1900 м — миртовые и лавровые леса; 4) 1900—2500 м — вечнозеленые лиственные леса (среднегодовая температура $\sim 19^{\circ}\text{C}$); 5) 2500—3100 м — широколиственные листопадные леса (среднегодовая температура 16°C); 6) 3100—3700 м — хвойные леса (среднегодовая температура 13°C); 7) 3700—4400 м — вечнозеленые и листопадные кустарники (среднегодовая температура $8,5^{\circ}\text{C}$); 8) 4400—4800 м — горные луга (среднегодовая температура $4,5^{\circ}\text{C}$); 9) выше 4800 м (среднегодовая температура $1,5^{\circ}\text{C}$) в зоне ледников обитают лишь споровые растения.

Таким образом, вертикальная зональность растительности является немаловажным фактором, и ее следует учитывать при восстановлении климатических условий прошлого.

ВОЗМОЖНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТОВ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА СОСТАВА ДРЕВНИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

ВЫЯВЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ГРУППИРОВОК ПРОШЛОГО (ВЫДЕЛЕНИЕ ФОРМАЦИЙ И АССОЦИАЦИЙ ИЗ СБОРНЫХ ДРЕВНИХ КОМПЛЕКСОВ РАСТЕНИЙ)

При работе над палеоботанической коллекцией исследователь после выяснения систематического состава растений, остатки которых были в ней представлены, получает список растений, обитавших в данном местонахождении или в большей или меньшей близости от него. Однако в этом списке могут оказаться растения, которые обитали в разных условиях и попали при захоронении в один водоём более или менее случайно. В связи с этим сначала возникает необходимость выяснить, в каких условиях обитали растения этого сборного комплекса и, если это возмож-

но, какие фитоценозы они слагали. В данном случае большую помощь может оказать метод актуализма.

Например, необходимость решения вопросов подобного рода возникла при восстановлении палеогеографической обстановки раннего олигоцена Северного Устья. Сокращенный список растений в данном случае представлял собой следующий комплекс: *Glyptostrobus europaea* (Brongn.) Heer, *Taxodium dubium* (Sternb.) Heer, *Thuja* sp., *Phragmites oeningensis* A. Br., *Poa-cites* sp., *Salix* sp., *Comptonia acutiloba* Brongn., *C. oeningensis* A. Br. (?), cf. *Myrica zachariensis* Sap., cf. *M. lignitum* (Ung.) Sap., *Juglans* sp., *Alnus* sp., *Betula prisca* Ett., *Ulmus* sp., *Cercidiphyllum crenatum* (Ung.) Brown, *Platanus* sp., *Rhus* sp., *Ilex* cf. *palaeogena* Iljinskaja, *Celastrus* sp., *Acer* sp., *Trapa* (?) sp., *Porana macrantha* Heer и др.

Как видно, в этом комплексе большую роль играют виды родов *Comptonia* и *Myrica*, являющиеся отголосками более древних эоценовых флор. Они вместе с дубами (виды рода *Ilex*) и сумахами (*Rhus*) либо составляли растительные группировки южных засушливых склонов и водоразделов, либо занимали второй или третий ярус в лесах из *Juglans*, *Alnus*, *Betula* и других пород тургайского типа. Сейчас трудно судить, какие именно растительные группировки составляли те или иные виды, так как все их остатки захоронены вместе, и представить себе слагаемые ими ассоциации можно лишь, применяя метод актуализма; причем интерполяции такого рода следует производить со всей возможной осторожностью. Так, например, какое положение занимал *Ilex*? Как элемент ксерофильного облика он мог селиться в сухих местообитаниях, однако известно, что в настоящее время *Ilex* произрастает на Кавказе, в Колхиде, под пологом широколиственных мезофильных лесов. Как же следует поступать при определении его экологических особенностей в олигоцене? Применять ли последовательно метод актуализма или учитывать, что наряду с *Ilex* в комплексе имеются типично ксерофильные виды, формирование которыми ксерофитных группировок не вызывает сомнения. Вместе с ними в эти группировки мог входить и *Ilex*.

Следовательно, применяя с большой осторожностью метод актуализма, можно сделать вывод, что комплекс раннего олигоцена Северного Устья не представляет собой одну ассоциацию, а составлен из представителей по крайней мере трех-четырёх растительных группировок:

1) Смешанные хвойно-широколиственные леса, являвшиеся главной группировкой. Основными лесообразующими породами были: *Liquidambar europaea* A. Br., *Ulmus carpinooides* Goerr., *Betula prisca* Ett., *Glyptostrobus europaea* (Brongn.) Heer, *Metasequoia disticha* (Heer) Miki. В подлеске, вероятно, обитали: *Celastrus aralensis* Bud., *Persea braunii* Heer, *Corylus macquarrii* (Forb.) Heer и др.

2) По южным склонам и на водоразделах обитали ксерофильные древесно-кустарниковые ассоциации, в которых большую роль играли *Cinnamomophyllum* sp., *Apocynophyllum helveticum* Heer, виды *Comptonia* и *Myrica*.

3) Во влажных долинах и по берегам водоемов формировались группировки, в которых важную роль играл болотный кипарис (*Taxodium dubium* (Sternb.) Heer). Вместе с ним росли такие мезофильные породы, как ива (*Salix* sp.), ольха (*Alnus* sp.), лапина (*Pterocarya castaneifolia* (Goerpp.) Schlecht.) и др.

4) Растительность водоемов составляли *Nelumbo protospeciosa* Sap., *Phragmites oeningensis* A. Br., *Trapa* sp.

В дальнейшем, когда будут выявлены определенные растительные группировки, можно выяснить их близость к той или иной формации и, сопоставляя с соответствующими современными формациями или ассоциациями, климатические условия обитания которых известны, определить главные характеристики климата времени существования данных палеогруппировок. Например, если получена олигоценовая группировка, в которой присутствуют такие виды, как *Pterocarya castaneifolia*, *Parrotia persica*, *Quercus alexejevii*, *Alnus nostratum*, *Fraxinus* sp., то можно отметить ее сходство с современными растительными ассоциациями Талыша (Восточное Закавказье) и, с немалой долей вероятности, прийти к выводу, что климатические условия обитания древнего комплекса были аналогичны условиям, существующим в настоящее время в Талыше.

В результате определения отпечатков растений, собранных на р. Жаман-Каинды (Тургайский прогиб), был получен следующий комплекс: *Salix turgaica* Ig. Vassil., *Myrica dilodendrifolia* Vassilevskaja, *M. zachariensis* Sap., *M. zachariensis* Sap. var. *elongata* Sap., *Ulmus marionii* (Sap.) Ig. Vassil., *Banksia haeringiana* (Ung.) Ett., *Palibinia acutiloba* Korov., *Lomatia dubia* Ig. Vassil., *Clematis tridentata* Ig. Vassil., *Leguminosites* sp., *Rhus enbekschiensis* Ig. Vassil., *R. minutifolia* Ig. Vassil., *Sapindus linearifolius* Berry и др.

По родовому составу и облику этот комплекс сходен со средиземноморскими субтропическими формациями типа маквиса. Применяя принцип актуализма, можно сделать вывод, что климат времени существования комплекса р. Жаман-Каинды был жарким, сухим и по своим основным характеристикам сходным с климатом современного Средиземноморья. Более точные количественные данные можно получить из соответствующих климатических справочников.

Таким образом, анализ комплексов древних растений может дать довольно ясное представление о климатических условиях прошлого.

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЕЙ
КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОШЛОГО

На этом этапе анализа древних растений следует к каждому из видов найти наиболее близкий как в систематическом, так и в экологическом отношении современный вид. Понятно, что это может быть сделано, с одной стороны, только для не слишком древних видов, а с другой — при очень тщательной систематической обработке как древних, так и современных групп. Но наиболее достоверные результаты будут получены, если систематика каких-либо групп разрабатывается сразу на всем имеющемся современном и палеоботаническом материале.

В качестве примера подобного рода анализа можно привести материалы из работ О. Геера (цит. по М. Шварцбаху [380]). При обработке третичной флоры Швейцарии О. Геер составил следующую таблицу (табл. 15).

Таблица 15

Третичный вид	Ближайший родственный современный вид	Средне- годовая температу- ра, °С
<i>Sabal lamanonis</i>	<i>S. adansonii</i>	17
<i>Chamaerops helvetica</i>	<i>Ch. humilis</i>	16
<i>Liquidambar europaea</i>	<i>L. styraciflua</i>	15
<i>Cinnamomum polymor- phum</i>	<i>C. camphora</i>	15
<i>Taxodium dubium</i>	<i>T. distichum</i>	13
<i>Laurus obovata</i>	<i>L. nobilis</i>	11
<i>Liriodendron helvetica</i>	<i>L. tulipifera</i>	9

Таким образом выясняются возможные температурные условия существования древних видов.

Аналогично могут быть установлены и условия увлажнения. Кроме того, имеются определенные объективные признаки ксерофильности, мезофильности и гигрофильности, анализируя которые, можно установить степень увлажнения местообитания древних растений.

В результате изучения различных европейских флор и применения принципа актуализма О. Геер (цит. по М. Шварцбаху [380]) устанавливает, что температурные условия их существования были следующие (указываются среднегодовые температуры в °С):

Гора Болка (поздний миоцен)	— 25—26
Оligоценовые флоры Швейцарии	— 20—21
Энинген (миоцен)	— 18—19
Тоскана (плиоцен)	— 17—18

Процесс подбора современных видов, аналогичных вымершим, в целях выяснения условий обитания последних, довольно сложен. Например, при изучении рода *Ficus*, который насчитывает в своем составе свыше 600 современных видов, или пальм, представители которых существуют в различных условиях, для выяснения того, какой современный вид является наиболее сходным с вымершим, необходимо просмотреть большое количество видов, а иногда даже и родов современных растений.

Проблема определения палеоклиматических условий по растениям имеет много аспектов. Мы не будем останавливаться на всех, однако о некоторых следует сказать.

1) Бейли и Синнот [391, 392] установили зависимость между количеством видов с цельнокрайними листьями и климатом. Оказалось, что в тропических климатах больше видов с цельнокрайними листьями, чем в более прохладных. Чейни и Санборн [403] приводят следующие данные о количестве видов с цельнокрайними листьями в различных регионах:

Панама, низменность	— 83
Флорида	— 83
Симла (Индия), горы	— 58
Равнина Верхнего Ганга	— 71
Гавайи, горная часть	— 56
Гавайи, низменность	— 76
Калифорния	— 23
Италия	— 50
Англия	— 32
Северная Германия	— 24
Северная Япония	— 8

2) Свидетельством холодного климата может явиться находка остатков растений, входивших в состав так называемой «дриасовой флоры». Основными ее компонентами являются: *Dryas octopetala*, *Salix polaris* (полярная карликовая ива), *Betula nana* (карликовая береза), различные мхи. Все эти виды обитают севернее 60° с. ш. Следовательно, и условия обитания древних «дриасовых флор» соответствовали существующим в настоящее время севернее 60-й параллели.

3) Наличие в комплексах хвойных растений, близких к современным елям и пихтам, может служить указанием на бореальный характер климата.

4) Восстановление климатических условий по растительности с учетом количественной оценки факторов всегда было слабой стороной палеоклиматических исследований.

В этой связи интересна методика, предложенная А. В. Гольберт и И. Д. Поляковой [110], согласно которой при обработке спорово-пыльцевых спектров они подразделяются на классы в зависимости от экологической характеристики продуцировавших их растений:

а) папоротники тропической и субтропической зон — *Marattiaceae*, *Matoniaceae*, *Cyatheaceae*, *Dicksoniaceae*, *Gleicheniaceae*, *Hymenophyllaceae*, *Dennstaedtia*, *Salviniaceae*;

б) папоротники и плауновые умеренно теплой зоны — *Osmundaceae*, *Polypodiaceae*, *Ophioglossaceae*, *Selaginellaceae*, *Lycopodiaceae*, *Hydropteridaceae*;

в) голосеменные тропической и субтропической зон — *Caytoniales*, *Bennettitales*, *Cycadales*, *Taxodiaceae*, *Podocarpaceae*, *Araucariaceae*;

г) хвойные умеренной и умеренно теплой зон — *Pinaceae*, *Cupressaceae*;

д) хвойные тропической и субтропической зон ксероморфные — *Brachyphyllum*, *Pagiophyllum*, некоторые виды *Cupressaceae*;

е) покрытосеменные умеренной зоны — *Betula*, *Alnus*, *Salicaceae*, *Rhamnaceae*;

ж) покрытосеменные широколиственные умеренно теплой зоны — *Juglandaceae*, *Ilex*, *Fagaceae*, *Tiliaceae*, *Ulmaceae*, *Corylus*, *Carpinus*, *Acer*, *Araliaceae*;

з) покрытосеменные субтропической зоны — *Rhus*, *Nyssa*, *Liquidambar*, *Sapindaceae*, *Elytranthe*, *Platanaceae*, *Oleaceae*, *Magnoliaceae*;

и) покрытосеменные тропической зоны — *Proteaceae*, *Myrtales*, *Palmae*.

Затем подсчитываются коэффициенты термофильности и гигрофильности, которые характеризуют климат в отношении температуры и осадков.

Коэффициент термофильности представляет собой отношение суммарного содержания в образце спор и пыльцы растений тропической зоны к суммарному содержанию спор и пыльцы растений умеренной зоны. Коэффициент гигрофильности определяется как отношение суммарного содержания спор и пыльцы ксерофильных растений в образце к суммарному содержанию спор и пыльцы мезофильных растений.

Увеличение абсолютного значения коэффициента термофильности свидетельствует об увеличении температур; уменьшение коэффициента гигрофильности указывает на увеличение количества осадков.

После подсчета коэффициентов термофильности и гигрофильности составляются графики изменения этих коэффициентов, характеризующие преобразование климата как во времени, так и по площади.

Такая работа была проделана для ранней, средней и поздней юры, позднего мела территории Сибирской платформы и для отдельных ее районов. Полученные результаты хорошо увязываются с минералого-химическими показателями климата Восточной Сибири.

Следует учитывать несовершенство спорово-пыльцевого метода, выражающееся как в преимущественном определении ископаемых форм только до рода, так и в возможности дальнего переноса и переотложения пыльцы и спор. За последние годы, правда, этот метод значительно усовершенствовался и дает все более точные результаты.

5) Определять характер движения ветра по ископаемым остаткам растений значительно труднее, чем судить о температуре и влажности, но все же можно. Так, если в породе наряду с остатками листьев и цветков находятся обломки веток, то это может свидетельствовать о ветреной погоде, а упавшие в одном направлении стволы деревьев — об урагане (или о преобладающих ветрах).

6) Широко известна роль годичных колец древесины в определении климатических условий, при которых существовали те или иные древесные породы. Влажным периодам года, годам и десятилетиям соответствуют широкие кольца, засушливым — узкие. Естественно, что в тропиках этот признак имеет лишь ограниченное значение.

7) По остаткам растений иногда можно определить, в какое время года они захоронились, так как известно, в какое время года опадают цветки, плоды и листья их современных аналогов. Например, цветки камфорного дерева и тополя и плоды ильма — весной; плоды тополя и ивы — летом; плоды камфорного дерева, хурмы и ломоноса, а также листья летнезеленых пород — осенью.

Учитывая перечисленные аспекты определения климатических условий прошлого на основании палеоботанических данных, можно перейти к практической работе по определению палеоклиматов. Примером такой работы могут послужить труды В. М. Синицына [296] и М. Шварцбаха [443].

В работе В. М. Синицына даются палеоклиматические карты, на которых проведены изотермы самого холодного и самого жаркого месяцев в кайнозойское время на территории Евразии. За основу проведения изотерм взяты границы распространения тех или иных растений. В частности, среднемесячная изотерма января $+20^{\circ}$ проведена по наличию мангровых, изотерма $+5^{\circ}$ того же месяца — по наличию пальм; лавровые и миртовые дают границу для изотермы $+4^{\circ}$, а ликвидамбар и секвойя — для изотермы $+3^{\circ}$. Таким же образом анализируется и количество осадков. Так, для аридной области Казахстана (в эоцене) принимается годовая сумма осадков 500—800 мм, т. е. такая же, какая имеет место в настоящее время в африканской саванне.

М. Шварцбах [443] проводит подробный анализ рейнской третичной флоры, применяя на практике почти все методики, о которых говорилось выше, начиная с поисков современных аналогов ископаемых форм и кончая анализом положения упавших стволов деревьев для определения направления преобладающих ветров.

Исходя из всего сказанного, можно сделать вывод, что при определении климатических условий прошлого роль палеоботаники чрезвычайно велика. Именно палеоботаника может воссоздать палеоландшафты прошлого, проанализировать их с биоценотической, систематической и палеоклиматической сторон. Основным методом при этом, конечно, является принцип актуализма, несмотря на его недостатки, о которых говорилось выше. Во избежание ошибок необходимо очень тщательно изучать современные ландшафты, ценозы и отдельные растения в отношении их требований к различным климатическим факторам, так как все или почти все ошибки при применении принципа актуализма обуславливаются не столько его неприемлемостью в том или ином случае, сколько неправильным анализом и сопоставлением современных и древних группировок и видов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексин О. А. Общая гидрохимия. Л., Гидрометеиздат, 1948.
2. Алексин В. В. География растений. Изд. 2. М., «Советская наука», 1944.
3. Алексин В. В. География растений (основы фитогеографии, экологии и геоботаники). М., Учпедгиз, 1950.
4. Алексин В. В., Кудряшов Л. В., Говорухин В. С. География растений. Изд. 2. М., Учпедгиз, 1961.
5. Андреев Б. А. Геофизические методы в региональной структуре геологии. М., «Недра», 1965.
6. Андреев Б. А., Клушин И. Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. Л., «Недра», 1965.
7. Анисимов Е. М. Определение мощности рыхлых отложений в условиях вечной мерзлоты методом сейсморазведки.— «Колыма», 1964, № 7.
8. Антипов-Каратаев И. Н., Цюрупа И. Г. Выветривание первичных минералов (альбит, мусковит) под воздействием силикатной бактерии и характер образующихся вторичных соединений.— Тр. 6-го Совещ. по эксперим. и техн. минералогии и петрографии, № 12, вып. 371. М., Изд-во АН СССР, 1962.
9. Архангельский А. Д. Типы бокситов СССР и их генезис.— Тр. Конф. по генезису руд железа, марганца и алюминия. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1937.
10. Архангельский Н. И. О возрасте, составе и тектоническом размещении латеритного элювия на восточном склоне Урала.— В кн.: Докл. сов. геологов (МГК, 22-я сессия). Латериты. М., «Недра», 1964.
11. Аршинов В. В. Агальматолит.— В кн.: Неметал. полез. ископ. СССР. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1936.
12. Аузин А. К. Комплексные геофизические исследования при поисках силикатных никелевых руд.— «Разведка и охрана недр», 1962, № 10.
13. Афанасьев А. П. Минералогия древней коры выветривания на породах свиты Имандра-Варзуга к югу от Хибин.— В кн.: Кора выветривания, вып. 6. М., Изд-во АН СССР, 1963.
14. Афанасьев А. П. Минералогия доледниковой коры выветривания Кольского полуострова и приуроченных к ней месторождений вермикулита. М.—Л., «Наука», 1966.
15. Аэрометоды при геологической съемке и поисках полезных ископаемых. Т. 1. Общие принципы исследований. Под ред. Г. Ф. Лунгергаузена. М., «Недра», 1964.
16. Бардоши Д., Бод М. Новый метод измерений окислительно-восстановительных свойств осадочных пород.— «Геохимия», 1960, № 3.
17. Башенина Н. В., Воскресенский С. С. Методы геоморфологического исследования.— Изв. АН СССР, сер. геогр., 1955, № 1.
18. Бгатов В. И., Казаринов В. П. Методика изучения опорных разрезов для составления литолого-палеогеографических карт Сибири.— Тр. V Все-союз. литол. совещ., т. 1. Новосибирск, 1963.
19. Белоусов В. В. Общая геотектоника. Учеб. пособие для вузов. М.—Л., Госгеолтехиздат, 1948.
20. Белоусов В. В. Основные вопросы геотектоники. М., Госгеолтехиздат, 1962.

21. Бенеславский С. И. Вторичные процессы — важнейший фактор формирования бокситовых руд.— В кн.: Кора выветривания, вып. 4. М., Изд-во АН СССР, 1962.
22. Бенеславский С. И. Минералогия бокситов. М., Госгеолтехиздат, 1963.
23. Бенеславский С. И. Алюминий.— В кн.: Металлы в осад. толщах. М., «Наука», 1964.
24. Берг Л. С. Жизнь и почвообразование на докембрийских материках Избр. тр. Т. 2. Физическая география. М., Изд-во АН СССР, 1958.
25. Берлин Т. С. Методы исследования обменной способности глин.— В кн.: Метод. руковод. по петрогр.-минер. изуч. глин. М., Госгеолтехиздат, 1957.
26. Берлин Т. С. Определение емкости поглощения глин с помощью органических красителей. Механизм адсорбции метиленового голубого и метилвиолета на глинах.— В кн.: Исслед. и использ. глин. Изд-во Львовского гос. ун-та, 1958.
27. Бетехтин А. Г. Промышленные марганцовые руды СССР. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946.
28. Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей. М., Гл. ред. горно-топливной и геологоразвед. лит., 1938.
29. Бобко Е. В., Аскинази Д. Л. Об определении емкости поглощения и насыщенности почвы.— Тр. Науч. ин-та по удобрениям, 1925, вып. 25.
30. Боголепов В. Г. К пересчету химических анализов пород при изучении метасоматических процессов.— Науч. докл. высш. школы, геол.-геогр. науки, 1953, № 4.
31. Боголепов В. Г. Пересчет химических анализов горных пород при изучении метасоматических процессов.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1962, № 1.
32. Богомолов Г. В. Гидрогеологические условия Белорусского, Воронежского и Украинского кристаллических массивов и роль подземных вод в формировании кор выветривания.— В кн.: Геология и перспективы металлоносности докембрия Белоруссии и смежных районов. Минск, «Наука и техника», 1965.
33. Богоявленский А. Н. Распределение и миграции растворенной кремнекислоты в океанах.— В кн.: Геохимия кремнезема. М., «Наука», 1966.
34. Борисов А. А. Палеоклиматы территории СССР. Изд-во ЛГУ, 1965.
35. Борисов А. А., Косыгин Ю. А. Применение геофизических методов исследования при изучении тектонических структур.— В кн.: Методы изуч. тект. структур, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1961.
36. Боровиков Л. И., Бурков Ю. К. Корреляционный анализ закономерностей распространения малых элементов для решения вопросов седиментации.— В кн.: Докл. сов. ученых на XXII Междунар. геол. конгрессе. М., 1968.
37. Боровко Н. Г. Галлуазит из третичных отложений Башкирии.— ЗВМО, 1960, сер. II, ч. 89, вып. 3.
38. Бридке Э. В. Термические константы неорганических веществ. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1949.
39. Бровков Г. Н., Могилев А. Е. К вопросу о классификации терригенных осадочных пород по вещественному составу.— «Литол. и полез. ископ.», 1965, № 6.
40. Бродов Л. Ю., Каржева Л. В., Куличихина Т. Н. Использование поперечных и обменных волн при картировании мелкозалегающего фундамента.— В кн.: Вопр. развед. геофизики. Л., «Недра», 1966.
41. Бродский А. А. Некоторые теоретические положения гидрохимического метода поисков сульфидных месторождений.— В кн.: Геол. результаты прикл. геохимии и геофизики. М., Госгеолтехиздат, 1960.
42. Бублейников Ф. Д., Иванов А. Г. Геофизические методы поисков полезных ископаемых. М., Гостоптехиздат, 1961.
43. Бугельский Ю. Ю., Цимлянская Л. С. О формах миграции никеля в природных водах.— В кн.: Миграция хим. элементов при процессе выветривания. М., «Наука», 1966.
44. Бурков Ю. К. Статистическая модель подвижности малых элементов в условиях седиментогенеза.— Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., 1968, т. 150.

45. Бутаков П. П., Дедков А. П. Аналитическое изучение крупнообломочного материала. Изд-во Казанского гос. ун-та, 1971.
46. Бучинская Н. И. Древняя кора выветривания южной части Коростенского плутона. Автореф. дис. Киев, ИГН, 1967.
47. Бушинский Г. И. О генезисе бокситов.— В кн.: Бокситы, их минералогия и генезис. М., Изд-во АН СССР, 1958.
48. Бушинский Г. И. О генетических типах бокситов.— В кн.: Бокситы, их минералогия и генезис. М., Изд-во АН СССР, 1958.
49. Бушинский Г. И. Латеритно-осадочная гипотеза происхождения бокситов.— В кн.: Докл. сов. геологов (МГК, 22-я сессия). Латериты. М., «Недра», 1964.
50. Варминг Е. Экологическая география растений. Изд. Т-ва И. Д. Сытина (серия «Библиотека для самообразования»). М., 1901.
51. Варминг Е. Распределение растений в зависимости от внешних условий (экологическая география растений). Пер. со 2-го нем. изд. А. Т. Генкеля. Изд. Акц. о-ва «Брокгауз и Ефрон». Спб., 1902.
52. Вассоевич Н. Б. Еще о терминах для обозначения стадий и этапов литогенеза.— Тр. ВНИГРИ, 1962, вып. 190.
53. Вассоевич Н. Б. История представлений о геологических формациях (геогенерациях).— В кн.: Осад. и вулканог. формации. М., «Недра», 1966.
54. Веденеева Н. Е., Викулова М. Ф. Метод исследования глинистых минералов с помощью красителей и его применение в литологии. М., Госгеол-издат, 1952.
55. Веденеева Н. Е., Викулова М. Ф. Метод исследования глинистых минералов с помощью красителей (спектрофотометрический анализ). Изд-во Львовского гос. ун-та, 1956.
56. Верзилин Н. Н. О возможности использования некоторых палеогеографических закономерностей для выяснения общих условий образования континентальных отложений.— Вестн. ЛГУ, сер. геол. и геогр., 1966, вып. 2, № 12.
57. Вернадский В. И. История минералов земной коры, т. 1, вып. 1. Л., АН СССР, 1925.
58. Вернадский В. И. Биосфера, I—II. Науч. хим.-техн. изд-во. 1926.
59. Вернадский В. И. Очерки геохимии. М.—Л.—Грозный—Новосибирск, Горгеолиздат, 1934.
60. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., «Наука», 1965.
61. Викулова М. Ф. Значение разных методов минералогического анализа для исследования состава глин. Отг. из: Acta Univers. Carolinae — Geol. Supplem., I. Praha, 1961.
62. Викулова М. Ф., Дьяконов Ю. С. Рентгенографическое исследование поверхностей наслоения, скольжения и сланцеватости глинистых пород.— В кн.: Физ. методы исслед. минералов осад. пород. М., Изд-во АН СССР, 1966.
63. Вильямс В. Р. Почвоведение. Госиздат, 1920.
64. Вильямс В. Р. Почвоведение. М., ОГИЗ—Сельхозгиз, 1946.
65. Виноградов А. П. Геохимическая история кислорода и фотосинтез.— Изв. АН СССР, сер. биол., 1947, № 3.
66. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд. 2, доп. М., Изд-во АН СССР, 1957.
67. Вистелиус А. В. Проблемы математической геологии.— «Геология и геофизика», 1963, № 7.
68. Власов В. В., Ремизников В. И. К рентгенографической характеристике каолинита и некоторых глинистых и слонстых силикатов.— «Литол. и полез. ископ.», 1965, № 2.
69. Волков А. Н. Условия образования бокситов.— Тр. ИГН АН КазССР, 1959, вып. 2.
70. Волков И. А. Некоторые вопросы геоморфологического дешифрирования аэроснимков в условиях степи и пустыни.— Тр. Лаб. аэрометодов, т. 8. М., Госгеолтехиздат, 1959.
71. Вологдин А. Г. Геологическая деятельность микроорганизмов.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1947, № 3.

72. Волостных Г. Т., Дьяконов Ю. С. Рентген-дифракционный анализ в применении к петрографическим шлифам.—ЗВМО, 1961, ч. 90, вып. 3.
73. Воронков П. П. Особенности формирования химического состава поверхностных вод.—ДАН СССР, 1954, т. 94, № 2.
74. Высоцкий Б. П. Аэрофотометод при геологических исследованиях. М., Госгеолтехиздат, 1962.
75. Галицкий В. И. Предмет, задачи и методы палеогеоморфологии.—Учен. зап. Курского гос. пед. ин-та, 1966, вып. 36.
76. Гаррелс Р. М., Рихтер Д. Х. Может ли углекислота играть роль рудообразующего флюида в условиях небольших глубин?—В кн.: Проблемы эндогенных м-ний, вып. 1. М., Изд-во иностр. лит., 1960.
77. Гвоздецкий Н. А. Карст. Вопросы общего и регионального карстования. Изд. 2. М., Географгиз, 1954.
78. Гедройц К. К. Учение о поглотительной способности почв. М., Сельхозгиз, 1933.
79. Геохимия ландшафтов и поиски полезных ископаемых на Южном Урале (К 250-летию со дня рождения М. В. Ломоносова. 1711—1961). Под ред. А. И. Перельмана. Изд-во МГУ, 1961. Авт.: М. А. Глазовская, А. А. Макунина, И. А. Павленко и др.
80. Герасимов И. П. Современные латериты и их образование.—В кн.: Докл. сов. геологов (МГК, 22-я сессия). Латериты. М., «Недра», 1964.
81. Герасимов И. П. Новое в подходах и методах определения абсолютного возраста почв.—Изв. АН СССР, сер. геогр., 1968, № 1.
82. Германов А. И. Кислород подземных вод и его геохимическое значение.—Изв. АН СССР, сер. геол., 1955, № 6.
83. Германов А. И. О возможности гидрохимической причины образования подзоны выщелачивания.—«Геохимия», 1956, № 1.
84. Германов А. И. Основные черты гидрохимических условий формирования некоторых инфильтрационных месторождений урана.—Изв. АН СССР, сер. геол., 1960, № 8.
85. Германов А. И. Гидродинамические и гидрохимические условия образования некоторых гидротермальных месторождений.—Изв. АН СССР, сер. геол., 1962, № 7.
86. Гидрогеология и гидрохимия Успенской тектонической зоны.—В кн.: Геология и металлогения Успенской тектон. зоны (Центральный Казахстан), т. 4. Под ред. Р. А. Борукаева и Г. Н. Щербы. Алма-Ата, «Наука», 1968.
87. Гилярова М. А. Кора выветривания и конгломераты Ламмас-Печенгского района.—Вестн. ЛГУ, сер. геол., 1964, № 6, вып. 1.
88. Гинзбург И. И. Каолин и его генезис.—Изв. С.-Петербург. политехн. ин-та, 1912, т. 17, вып. 1.
89. Гинзбург И. И. Каолин. Годовой обзор минеральных ресурсов СССР за 1926—1927 гг. Тр. Геол. ком., 1928.
90. Гинзбург И. И. Геохимия коры выветривания Южного Урала.—Изв. АН СССР, сер. геол., 1938.
91. Гинзбург И. И. Древняя кора выветривания на ультраосновных породах Урала. Ч. 1. Типы и морфология.—Тр. ИГН АН СССР, 1946, вып. 80.
92. Гинзбург И. И. Стадийное выветривание минералов.—В кн.: Вопр. минералогии, геохимии и петрографии. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946.
93. Гинзбург И. И. Древняя кора выветривания, ее минералы и месторождения полезных ископаемых.—В кн.: Юбилейный сборник, посвященный 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции, ч. 2. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1947.
94. Гинзбург И. И. Древняя кора выветривания на ультраосновных породах Урала, ч. 2.—Тр. ИГН АН СССР, 1947, вып. 81.
95. Гинзбург И. И. Стадийное выветривание слюд и хлоритов.—В кн.: Вопр. петрографии и минералогии, т. 2. М., 1953.
96. Гинзбург И. И. Учение о гипергенных процессах в работах А. Е. Ферсмана.—Тр. Минер. музея АН СССР, 1953, вып. 5.

97. Гинзбург И. И. Кора выветривания, ее диагностические признаки и значение в фациальном анализе.— В кн.: Методы изуч. осад. пород, т. 2. М., Госгеолтехиздат, 1957.
98. Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных и редких металлов. М., Госгеолтехиздат, 1957.
99. Гинзбург И. И. Некоторые физико-химические моменты в образовании глин.— В кн.: Исслед. и использ. глин. Изд-во Львовского гос. ун-та, 1958.
100. Гинзбург И. И. Типы древних кор выветривания, формы их проявления и классификация.— В кн.: Кора выветривания, вып. 6. М., Изд-во АН СССР, 1963.
101. Гинзбург И. И., Кабанова Е. С. Содержание кремнезема в природных водах и формы его присутствия.— В кн.: Кора выветривания, вып. 3. М., Изд-во АН СССР, 1960.
102. Гинзбург И. И., Наджакова Г. Э., Никитина А. П. Современное и древнее латеритное выветривание базальтов Бразилии и Русской платформы.— В кн.: Кора выветривания, вып. 4. М., Изд-во АН СССР, 1962.
103. Гинзбург И. И., Рукавишников И. А. Минералы древней коры выветривания Урала. М., Изд-во АН СССР, 1951.
104. Гладковский А. К. О закономерностях формирования и размещения месторождений бокситов на Урале и в Зауралье.— В кн.: Закономерности размещения м-ний в платформ. чехлах, ч. 2. Киев, Изд-во АН УССР, 1960.
105. Глазовская М. А. О соотношении процессов выветривания и почвообразования.— В кн.: Докл. сов. почвоведов к VII Междунар. конгрессу в США. Изд-во АН СССР, 1960.
106. Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. Изд-во МГУ, 1964.
107. Глинка К. Д. Исследования в области процессов выветривания. Спб., 1906.
108. Глинка К. Д. О древних процессах выветривания в Приамурье.— «Почвоведение», 1911, № 8.
109. Гольберт А. В., Маркова Л. Г., Полякова И. Д. Палеоландшафты Западной Сибири в юре, мелу и палеогене. М., «Наука», 1968.
110. Гольберт А. В., Полякова И. Д. К методике региональных палеогеографических реконструкций.— «Геология и геофизика», 1966, № 4.
111. Горбунов Н. И., Цюрупа И. Г., Шурыгина Е. А. Рентгенограммы, термограммы и кривые обезвоживания минералов, встречающихся в почвах и глинах. М., Изд-во АН СССР, 1952.
112. Горецкий Ю. К. Закономерности образования бокситовых месторождений.— В кн.: Бокситы, их минералогия и генезис. М., Изд-во АН СССР, 1958.
113. Горецкий Ю. К. Закономерности размещения и условия образования основных типов бокситовых месторождений.— Тр. ВИМС, 1960, вып. 5.
114. Градусов Б. П., Гаргульян В. О. Минералы илестой фракции в почвах, развитых на изверженных породах Восточного Саяна.— «Почвоведение», 1962, № 11.
115. Грамберг И. С., Спиро Н. С. Восстановление гидрохимических условий древних морских водоемов по геохимическим признакам.— В кн.: Методы палеогеогр. исслед. М., «Недра», 1964.
116. Грицаенко Г. С., Горшков А. И., Самотин Н. Д. Состояние и возможности современной электронной микроскопии в изучении глинистых минералов.— В кн.: Тезисы докл. к Совещ. по исслед. и использ. глин и глинистых минералов, 1967.
117. Грицаенко Г. С., Самотин Н. Д. Изучение микрофотографии поверхностей сколов минералов методом декорирования.— В кн.: Физ. методы исслед. минералов осад. пород. М., «Наука», 1966.
118. Гузовский Л. А. Методика и результаты работ по картированию кор выветривания Урала.— В кн.: Кора выветривания, вып. 6. М., Изд-во АН СССР, 1963.

119. Гузовский Л. А., Гавришин А. И. О длительности формирования мезозойской коры выветривания Южного Урала.— ДАН БССР, 1968, т. 12, № 6.
120. Гуляева Л. А. Геохимические фации окислительно-восстановительной обстановки и органическое вещество осадочных пород.— «Сов. геология», 1955, № 47.
121. Гурвич И. И. Сейсморазведка. М., «Недра», 1964.
122. Девдариани А. С. Кинематика рельефа.— В кн.: Вопр. географии, сб. 21. М., Географиздат, 1950.
123. Девдариани А. С. Измерение перемещений земной поверхности. М. «Наука», 1964.
124. Девис В. М. Географический цикл.— В кн.: Геоморфол. очерки. М., Изд-во иностр. лит., 1962.
125. Дзенс-Литовский А. И. Природная селитра СССР.— «Наука и жизнь», 1943, № 9—10.
126. Дзенс-Литовский А. И. Соляной карст СССР. Л., «Недра», 1966.
127. Добровольский В. В. Типоморфные зональные проявления гипергенеза и их геохимическое значение.— В кн.: Геол. результаты прикл. геохимии и геофизики, разд. 1. М., Госгеолтехиздат, 1960.
128. Добровольский В. В. Вещественный состав и морфология коры выветривания. Изд-во МГУ, 1964.
129. Докучаев В. В. Русский чернозем. Отчет Императ. Вольному экон. о-ву. Спб., 1883.
130. Докучаев В. В. К вопросу о соотношениях между возрастом и высотой местности, с одной стороны, характером и распределением черноземов, лесных земель и солонцов — с другой, ст. 1—2. Спб., 1891.
131. Евсеева Л. С., Фомина Н. П. Окислительно-восстановительные свойства осадочных урановых пород. М., Атомиздат, 1965.
132. Ермолаев М. М. Вычисление значений свободных энергий некоторых гипергенных минералов на основе предположения о стационарности химических потенциалов и концентраций главных элементов в водах Мирового океана.— В кн.: Кора выветривания, вып. 7. М., «Наука», 1966.
133. Жилинский Г. Б. Генетические типы оловянных россыпей Индонезии, методика их поисков и разведки.— В кн.: Геология россыпей. М., «Наука», 1965.
134. Жуков В. А., Константинович А. Э. Развитие ископаемого рельефа поверхности каменноугольных отложений юго-запада Московской палеозойской котловины.— В кн.: Памяти акад. А. Д. Архангельского. М., Изд-во АН СССР, 1951.
135. Зайцев И. К. Итоги изучения гидрогеологии СССР.— «Сов. геология», 1967, № 11.
136. Зайцев И. К., Распопов М. П. К методике составления карты грунтовых вод СССР.— Мат-лы ВСЕГЕИ, 1961, вып. 46.
137. Зайцев И. К., Толстихин Н. И. Основы структурно-гидрогеологического районирования СССР.— Тр. ВСЕГЕИ, 1963, т. 101.
138. Замятченский П. А. К вопросу о происхождении каолина.— ДАН СССР, 1938, т. 20, № 6.
139. Захаров С. А. Курс почвоведения. М., Сельхозиздат, 1931.
140. Захарчук П. В. Новый универсальный метод определения емкости поглощения почв.— «Почвоведение», 1953, № 7.
141. Звонкова Т. В. Изучение рельефа в практических целях. М., Географиз, 1959.
142. Зеленов К. К. Геохимия алюминия и титана в областях вулканической деятельности островных дуг.— «Сов. геология», 1963, № 3.
143. Земцов А. А., Буров В. П. К методике изучения карста при поисках золотоносных россыпей.— В кн.: Методика изуч. карста, вып. 2. Пермь, 1963.
144. Иванов А. А., Левицкий Ю. Ф. Геология галогенных отложений СССР. М., Госгеолтехиздат, 1960.

145. Иванов Г. И. Древняя кора выветривания на кристаллических породах в бассейне реки Котуйкан.— «Геология и геофизика», 1964, № 2.
146. Иванова В. П. Термограммы минералов.— ЗВМО, 1961, сер. II, ч. 90, вып. 1.
147. Иванова Е. Н., Лобова Е. В., Розанов А. Н. Обзор работ по генезису почв. Тр. VI Междунар. конгресса по почвоведению.— «Почвоведение», 1958, № 5.
148. Игнатъев В. И. Погребенный рельеф пермского времени в Нижне-окском районе.— ДАН СССР, 1952, т. 84, № 5.
149. Исследование растворимости метапикрита и хлорит-амфиболового сланца в природных органических кислотах в связи с изучением условий бокситообразования.— В кн.: Кора выветривания, вып. 7. М., «Наука», 1966. Авт.: Е. П. Левандо, В. М. Красикова, Е. В. Киселева и др.
150. Казаринов В. П. Мезозойские и кайнозойские отложения Западной Сибири. М., Гостоптехиздат, 1958.
151. Казицын Ю. В. Энергетика постмагматических процессов.— Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., 1962, т. 73.
152. Казицын Ю. В., Рудник В. А. Руководство к расчету баланса вещества и внутренней энергии при формировании метасоматических пород. М., «Недра», 1968.
153. Каменский Г. Н., Толстихина М. М., Толстихин А. И. Гидрогеология СССР. М., Госгеолтехиздат, 1959.
154. Камышева-Елпатьевская В. Т. Органический мир как индикатор палеогеографии и условий образования полезных ископаемых осадочного происхождения.— Учен. зап. Ленингр. пед. ин-та, 1966, т. 290.
155. Карцев А. А. Принципы и пути палеогидрогеологических исследований (при изучении генезиса нефтяных и газовых залежей и оценке перспектив нефтегазосности).— В кн.: Проблемы гидрогеологии. М., Гос. науч.-техн. изд-во лит. по геол. и охране недр, 1960.
156. Карцев А. А., Вагин С. Б. Палеогидрогеологические исследования при изучении формирования и разрушения нефтегазовых скоплений (на примере мезозойских отложений Предкавказья).— «Сов. геология», 1962, № 8.
157. Карякин А. С. Опыт изучения метаморфизованных докембрийских кор континентального выветривания на примере Центральной Карелии.— ДАН СССР, сер. геол., 1966, т. 166, № 1.
158. Кейт М. Л., Дегенс Э. Т. Геохимические индикаторы морских и пресноводных осадков.— В кн.: Геохим. исслед. М., Изд-во иностр. лит., 1961.
159. Келлер У. Д. Основы химического выветривания.— В кн.: Геохимия литогенеза. М., Изд-во иностр. лит., 1963.
160. Ковалев Г. А., Дьяконов Ю. С. Рентгеновское исследование глинистых минералов группы каолинита.— ЗВМО, 1959, сер. II, ч. 88.
161. Коннов Л. П. Некоторые данные о современном выветривании мезозойских гумидно-континентальных бокситовых пород.— Зап. Узб. отд. Всесоюз. минер. о-ва, 1956, вып. 9.
162. Копелиович А. В., Коссовская А. Г., Шутов В. Д. О некоторых особенностях эпигенеза терригенных отложений платформенных и геосинклинальных областей.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1961, № 6.
163. Коржув С. С. Морфоструктурные особенности рельефа Сибирской платформы и неотектоника.— Изв. АН СССР, сер. геогр., 1960, № 4.
164. Косолобов Н. И. Коэффициент выветрелости как одна из методик выделения осадочных серий.— Тр. СНИИГГИМС, 1962, вып. 16.
165. Коссовская А. Г. Типизация смешаннослоистых структур глинистых минералов и ее генетическое значение.— Тр. II Совещ. по физ. методам исслед. минералов осад. пород. М., Изд-во АН СССР, 1966.
166. Котлуков В. А. Закономерности нижекарбонového угленакпления на Русской платформе и методика поисковых работ.— Тр. Лаб. геологии угля, 1956, вып. 6.
167. Котлуков В. А. Значение и методы построения реконструкций палеорельефа суши платформенных областей.— В кн.: Методы палеогеогр. исслед. М., «Недра», 1964.

168. Крамаренко Л. Е., Тебенькова Р. И., Призренова И. И. Тионовые бактерии в подземных водах редкометалльных месторождений Джунгаро-Балхашской металлогенетической провинции и их поисковое значение.— В кн.: Мат-лы по регион. и поиск. гидрогеологии. Госгеолтехиздат, 1961.
169. Кривцов А. И. Некоторые вопросы теории образования бокситов.— Тр. ВСЕГЕИ, 1967, т. 123.
170. Криштофович А. Н. Палеоботаника. Изд. 4. Л., Гостоптехиздат, 1957.
171. Куземкина Е. Н. О некоторых вторичных процессах в мезозойских бокситах Северо-Западного Тургая.— В кн.: Кора выветривания, вып. 4. М., Изд-во АН СССР, 1962.
172. Кузнецов С. И. Геологическая деятельность микроорганизмов.— Вестн. АН СССР, 1959, № 30—33.
173. Кузнецов С. И., Иванов М. В., Ляликова Н. Н. Введение в геологическую микробиологию. М., Изд-во АН СССР, 1962.
174. Куковский Е. Г. Некоторые кристаллохимические аспекты выветривания минералов кристаллических пород Украинского щита.— В кн.: Хим. состав и внутреннее строение минералов. Киев, «Наукова Думка», 1964.
175. Куликова Г. В., Розина Е. Л., Семенова Н. Г. Об использовании ультразвука при изучении сцементированных глинистых пород.— Тр. II Совещ. по физ. методам исслед. минералов осад. пород. М., Изд-во АН СССР, 1966.
176. Куренкина И. Е. Некоторые геохимические особенности коры выветривания кристаллического фундамента бассейна КМА.— В кн.: Геология и перспективы металлоносности докембрия Белоруссии и смежных районов. Минск, «Наука и техника», 1965.
177. Лебедев В. И. Основы энергетического анализа геохимических процессов. Изд-во ЛГУ, 1957.
178. Левандо Е. П. Миграция химических элементов в профиле коры выветривания основных пород по экспериментальным данным.— В кн.: Мат-лы к Совещ. по геохимии гипергенеза. Минск, 1964.
179. Левченко С. В. Геологическое обоснование металлогении доплатформенных этапов развития Кузнецко-Минусинского рудного района. ГИН АН СССР, 1970.
180. Леонов Б. Н. Основные черты геологии северо-востока Сибирской платформы.— Тр. Всесоюз. аэрогеол. треста, 1962, вып. 8.
181. Лисицын А. П. Основные закономерности распределения современных кремнистых осадков и их связь с климатической зональностью.— В кн.: Геохимия кремнезема. М., «Наука», 1966.
182. Лисицын Н. А. К методике геохимического изучения кор выветривания.— «Литол. и полез. ископ.», 1966, № 1.
183. Лисицын Н. А. Генетические типы современных и четвертичных кор выветривания основных пород влажных тропиков.— «Литол. и полез. ископ.», 1967, № 5.
184. Лисицын Н. А. Кора выветривания и формы миграции элементов.— В кн.: Геохимия осад. пород и руд. М., «Наука», 1968.
185. Лисицын Н. А., Пастухова М. В. Вторичная минерализация в бокситовой толще и коре выветривания тургайских и североказахстанских месторождений бокситов.— «Геол. рудн. м-ний», 1961, № 1.
186. Лисицын Н. А., Пастухова М. В. К вопросу о генезисе латеритных и латеритно-осадочных бокситов.— В кн.: Докл. сов. геологов (МГК, 22-я сессия). Латериты. М., «Недра», 1964.
187. Литвиненко А. У., Эльянов М. Д. Поверхность фундамента и мощность коры выветривания кристаллических пород Украинского щита.— В кн.: Вопр. геологии и минералогии рудн. м-ний, вып. 2. М., «Недра», 1967.
188. Личков Б. Л. К вопросу о значении местных базисов эрозии в гидрогеологии.— Тр. Лаб. гидрогеол. проблем, т. 3. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1948.
189. Личков Б. Л. Горные денудационные поверхности (поверхности выравнивания), структуры и гидрогеология.— В кн.: Тезисы докл. III Всесоюз. гидрол. съезда, т. 8. Л., 1959.

190. Логачев А. А. Курс магниторазведки. М., Госгеолтехиздат, 1955.
191. Лукашов К. И. Основы литологии и геохимии коры выветривания. Минск, Изд-во АН БССР, 1958.
192. Макеев З. А. О глубинном распределении и передвижении подземных вод.—Тр. Лаб. гидрогеол. проблем, т. 3. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1948.
193. Максимович Г. А. Основные типы гидродинамических профилей областей карста карбонатных и сульфатных отложений.—ДАН СССР, 1957, т. 112, № 3.
194. Марков К. К. Основные проблемы геоморфологии. М., Географгиз, 1948.
195. Марков К. К. Палеогеография. Изд. 2. Изд-во МГУ, 1960.
196. Мельничук Э. В. Метод кислородно-кварцевого пересчета при изучении миграции элементов в коре выветривания.—В кн.: Вторая конф. молодых геологов Украины при Ин-те геол. наук АН УССР. Киев, Изд-во АН УССР, 1962.
197. Меньшиков П. Н. Применение геофизических методов при поисках алмазных месторождений.—В кн.: Состояние и перспективы развития развед. геофизики. М., Госполтехиздат, 1961.
198. Меняйлов А. А. Латеритный тип кор выветривания на трапах Сибирской платформы.—В кн.: Докл. сов. геологов (МГК, 22-я сессия). Латериты М., «Недра», 1964.
199. Методическое руководство по геоморфологическому картированию и производству геоморфологической съемки в масштабе 1 : 50 000—1 : 25 000 (с легендой). Под ред. Н. В. Башениной. Изд-во МГУ, 1962. Авт.: Н. В. Башенина, О. К. Леонтьев, М. В. Пиотровский, Ю. Т. Симонов.
200. Методическое руководство по петрографо-минералогическому изучению глин. М., Госгеолтехиздат, 1957.
201. Методы геоморфологических исследований. Новосибирск, «Наука», 1967.
202. Методы изучения осадочных пород, т. 1. М., Госгеолтехиздат, 1957.
203. Мещеряков Ю. А. О полигенетических поверхностях выравнивания (на примере юго-востока Русской равнины).—Изв. АН СССР, сер. геогр., 1959, № 1.
204. Мещеряков Ю. А. Морфоструктура равнинно-платформенных областей. М., Изд-во АН СССР, 1960.
205. Мещеряков Ю. А. Полигенетические поверхности выравнивания.—В кн.: Проблемы поверхностей выравнивания. М., «Наука», 1964.
206. Мещеряков Ю. А. Структурная геоморфология равнинных стран. М., «Наука», 1965.
207. Минаева Ю. И., Биджиев Р. А. О среднепалеозойской коре выветривания северо-востока Сибирской платформы.—Тр. Всесоюз. аэрогеол. треста, вып. 8.
208. Михайлов Б. М. Некоторые вопросы геохимии древней коры выветривания.—В кн.: Исслед. и исполз. глин. Изд-во Львовского гос. ун-та, 1958.
209. Михайлов Б. М. О процессах выветривания базальтовых лав Дальнего Востока.—Информ. сб. ВСЕГЕИ, 1960, № 38.
210. Михайлов Б. М. К вопросу о роли растительного покрова при латеритном выветривании в горных районах Либерийского щита.—ДАН СССР, 1964, т. 157, № 4.
211. Морозов М. Б. Металлоносность поверхностных и подземных вод северо-западной части Тургайского прогиба.—В кн.: Мат-лы годичной сессии Ученого совета ВСЕГЕИ, 1960.
212. Мушкетов И. В. Физическая геология, т. 2. М.—Л., Госиздат, 1926.
213. Наковник Н. И. Месторождение Коунрад, его горные породы и минералы. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1937.
214. Наливкин Д. В. Учение о фациях. Изд. 2. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1956.
215. Наумов А. Д. Пенеплены — фиксированные поверхности выравнивания и их роль при изучении структур материков.—В кн.: Проблемы поверхностей выравнивания. М., «Наука», 1964.

216. Некоторые закономерности распределения урана в подземных водах. — В кн.: Ядерное горючее и реакторные металлы. Тр. II Междунар. конф. по мирному использ. атомной энергии. М., Атомиздат, 1959. Авт.: А. И. Германов, С. Г. Батулин, Г. А. Волков и др.
217. Никитина А. П. Древняя латеритная кора выветривания докембрийских пород Воронежской антеклизы. — В кн.: Докл. сов. геологов (МГК, 22-я сессия). Латериты. М., «Недра», 1964.
218. Николаев В. А., Доливо-Добровольский В. В. Основы теории процессов магматизма и метаморфизма. М., Госгеолтехиздат, 1961.
219. Никольский Б. П. Обменная способность и условная емкость обмена почв. — Учен. зап. ЛГУ, сер. хим. наук, 1945, № 79, вып. 7.
220. Никонова Р. И. Поверхности выравнивания в рельефе Южного Приморья. М., «Наука», 1966.
221. Овчинников А. М. Гидрогеологические условия гидротермальных процессов. — БМОИП, т. 62. Отд. геол., 1957, т. 32, вып. 5.
222. Очерки осадочных месторождений полезных ископаемых. Под ред. Л. В. Пустовалова. М., Изд-во АН СССР, 1958.
223. Павловский В. И. Методика геофизических работ по поискам богатых железных руд в районе Курской магнитной аномалии. — В кн.: Состояние и перспективы развития геофиз. методов поисков и разведки полз. ископ. М., Гостоптехиздат, 1961.
224. Парфенова Е. И. Исследование минералов подзолистых почв в связи с их генезисом. — В кн.: Кора выветривания, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1956.
225. Парфенова Е. И., Ярилова Е. А. Образование вторичных минералов в почвах и растениях в связи с миграцией элементов. — «Почвоведение», 1956, № 4.
226. Педро Ж. Экспериментальные исследования геохимического выветривания кристаллических пород. М., «Мир», 1971.
227. Перельман А. И. Известковые конкреции Каракумов и Кызылкумов. — ДАН СССР, 1951, т. 78, № 5.
228. Перельман А. И. Древняя кора выветривания Средней Азии. — ДАН СССР, 1955, т. 114, № 4.
229. Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза). М., «Недра», 1965.
230. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., «Высшая школа», 1966.
231. Петров В. П. Геолого-минералогические исследования уральских белых глин и некоторые выводы по генезису белых глин вообще. — Тр. ИГН АН СССР, 1948, вып. 95.
232. Петров В. П. Характер минералообразования при древнем выветривании различных пород. — В кн.: Мат-лы по геологии, минералогии и использ. глин в СССР. М., Изд-во АН СССР, 1958.
233. Петров В. П. Некоторые итоги изучения древних кор выветривания в СССР. — В кн.: Итоги науки, сер. геол. Геохимия, минералогия, петрография. ВИНИТИ, 1965.
234. Петров В. П. Основы учения о древних корях выветривания. М., «Недра», 1967.
235. Петрусевич М. Н. Геологосъемочные и поисковые работы на основе аэрометодов. М., Госгеолтехиздат, 1954.
236. Петрусевич М. Н. Аэрометоды при геологических исследованиях. М., Госгеолтехиздат, 1962.
237. Пиотровский М. В. Проблемы формирования педиментов. — В кн.: Проблемы поверхностей выравнивания. М., «Наука», 1964.
238. Пиотровский М. В., Синюгина Е. Я. Геоморфологическое изучение россыпей и задачи его дальнейшего развития. — В кн.: Мат-лы II Геоморфол. совещ. М., Изд-во АН СССР, 1959.
239. Писарчик Я. К. Гипсы и ангидриты. — В кн.: Справ. руковод. по петрографии осад. пород, т. 2. Л., Гостоптехиздат, 1958.
240. Поваренных А. С. О магнитных свойствах минералов. — Минер. сб Львовского геол. о-ва, 1957, № 11.

241. Покровский В. А. О нижней границе биосферы на территории европейской части СССР по данным региональных геотермических исследований.— Тр. Ин-та микробиологии, 1961, вып. 9.
242. Польшов Б. Б. Кора выветривания, ч. 1. Л., Изд-во АН СССР, 1934.
243. Польшов Б. Б. Геохимические ландшафты. М.—Л., Географиздат, 1952.
244. Пономарева В. В. О методах выделения и химической природе фульвокислот.— «Почвоведение», 1947, № 12.
245. Пономарева В. В. Новые данные к познанию подзолообразовательного процесса.— Вестн. ЛГУ, 1950, № 7.
246. Пономарева В. В. К вопросу о роли растительности в подзолообразовании.— «Почвоведение», 1955, № 8.
247. Пономарева В. В. О сущности и географических закономерностях подзолообразования.— «Почвоведение», 1956, № 3.
248. Попов Е. Г. Домезозойские и современные коры выветривания траппов юго-восточной окраины Тунгусской синеклизы.— В кн.: Мат-лы Конф. молодых науч. сотрудников. Иркутск, 1965.
249. Попова Э. И. Кварц как компонент стекольной шахты.— Тр. ВНИИС, 1955, вып. 35.
250. Прахова Е. В. К вопросу о значении обеленных горных пород при поисках колчеданных месторождений на Урале.— Тр. Горногеол. ин-та (Уральский фил.), вып. 42. Свердловск, Изд-во АН СССР, 1959.
251. Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов. (Основные принципы металлогенических исследований и составления металлогенических и прогнозных карт рудных районов). Под ред. Е. Т. Шаталова. М., «Недра», 1966. Авт.: И. И. Гинзбург, Г. И. Россман, К. М. Муканов и др.
252. Проблемы палеогеоморфологии. Мат-лы VI пленума Геоморфологической комиссии. М., «Наука», 1970.
253. Пустовалов Л. В. Геохимические фации и их значение в общей и прикладной геологии.— «Проблемы сов. геологии», 1933, № 1.
254. Пустовалов Л. В. Об относительном значении осадочных и магматогенных рудных концентраций.— В кн.: Металлы в осад. толщах. М., «Наука», 1964.
255. Пустовалов Л. В., Соколова Е. И. Методы определения pH и Eh в осадочных породах.— В кн.: Методы изуч. осад. пород, т. 2. М., Госгеолтехиздат, 1957.
256. Разумова В. Н. Кора выветривания северо-западной части Казахского нагорья.— В кн.: Кора выветривания, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1956.
257. Разумова В. Н. Бейделлитовая верхнеолигоценовая кора выветривания на древнем элювии серпентинитов Кемпирсайского гипербазитового массива (Южный Урал).— Тр. ГИН АН СССР, 1963, вып. 77.
258. Разумова В. Н. Коры выветривания латеритного и каолинового типа основных пород.— Тр. ГИН АН СССР, 1967, вып. 174.
259. Разумова В. Н., Херасков Н. П. Геологические типы кор выветривания и закономерности их размещения.— Тр. ГИН АН СССР, 1963, вып. 77.
260. Разумова В. Н., Черняховский А. Г. Древняя кора выветривания Орь-Илекского междуречья и история ее развития.— Тр. ГИН АН СССР, 1963, вып. 77.
261. Распов М. П. О понятии «зона аэрации» и роли этой зоны в гидрогеологии.— Изв. высш. учеб. завед. Геология и разведка, 1962, № 1.
262. Растворимость метаникриты и хлорит-амфиболового сланца в углекислых растворах (экспериментальные исследования в связи с изучением процесса бокситообразования).— Информ. сб. ВСЕГЕИ, 1959, № 20. Авт.: Е. П. Левандо, В. М. Красикова, Е. В. Киселева, И. В. Евсеева.
263. Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов. Под ред. Г. Брауна. М., «Мир», 1965.
264. Роде А. А. К вопросу о степени подзолистости.— В кн.: К пятидесятилетию научной и общественной деятельности акад. Ф. Ю. Левинсона-Лессинга. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1936.

265. Роде А. А. Подзолообразовательный процесс. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1937.
266. Родионов Н. В. Карст европейской части СССР, Урала и Кавказа. М., Гостеолтехиздат, 1963.
267. Рождественский А. П. Основные черты современного рельефа и новейшая тектоника восточной окраины Русской платформы и Предуральского краевого прогиба.— В кн.: Геоморфология и новейшая тектоника Волго-Уральской области и Южного Урала. Уфа, 1960.
268. Рожкова Е. В. Синтетические гидраты глинозема и их свойства.— Тр. ВИМС, нов. сер., 1949, вып. 2.
269. Романов А. А. О методике картирования поверхностей выравнивания.— В кн.: Проблемы поверхностей выравнивания. М., «Наука», 1964.
270. Ронов А. Б. К последокембрийской геохимической истории атмосферы и гидросферы.— «Геохимия», 1959, № 5.
271. Ронов А. Б., Балашов Ю. А., Мигдисов А. А. Геохимия редкоземельных элементов в осадочном цикле.— «Геохимия», 1967, № 1.
272. Ронов А. Б., Мигдисов А. А. Основные черты геохимии элементов-гидролизатов в процессах выветривания и осадконакопления.— «Геохимия», 1965, № 2.
273. Рудник В. А. Определение количественного изменения вещества при метасоматических процессах.— ЗВМО, 1962, ч. 91, вып. 6.
274. Рудник В. А. О балансе вещества при метасоматических процессах.— Изв. высш. учеб. завед. Геология и разведка, 1964, № 2.
275. Рудник В. А. Атомно-объемный метод в применении к метасоматическому минерало- и порообразованию. Л., «Недра», 1966.
276. Рухин Л. Б. Основы общей палеогеографии. Л., Гостоптехиздат, 1959.
277. Рухин Л. Б. Основы литологии. Л., Гостоптехиздат, 1961.
278. Рыжков И. С., Русанов Б. С. Промышленные типы россыпей и их особенности.— В кн.: Метод. указания по производству геологоразвед. работ. Вып. 12. Разведка россыпных м-ний. М., Госгеолтехиздат, 1957.
279. Саваренский Ф. П. Гидрогеология. Изд. 2. М.—Л., 1935.
280. Салоп Л. И. Протерозой и архей.— В кн.: Геол. строение. М., Госгеолтехиздат, 1958.
281. Самойлов В. Ф., Мельников И. Н. Оценка месторождений при поисках и разведках. Вып. 11. Каолин. М., Госгеолтехиздат, 1951.
282. Сапожников Д. Г. О структурно-тектонической приуроченности древних кор выветривания.— В кн.: Кора выветривания, вып. 10. М., Изд-во АН СССР, 1968.
283. Сауков А. А. Геохимия. М., Госгеолтехиздат, 1950.
284. Сваричевская З. А. Современные представления об эволюции кольчатых равнин.— В кн.: Проблемы поверхностей выравнивания. М., «Наука», 1964.
285. Сваричевская З. А., Селиверстов Ю. П. О цикличности и основных этапах рельефообразования.— ДАН СССР, 1966, т. 169, № 2.
286. Свиридов В. В. Докембрий района Ростова-на-Дону.— «Сов. геология», 1966, № 2.
287. Сергеев С. И. Эффективность визуальных поисков месторождений в зависимости от геологоструктурных и геоморфологических условий.— Бюл. науч.-техн. информ., № 1. ВИМС, 1962.
288. Сигов А. П. Вопросы изучения поверхностей выравнивания в целях поисков гипергенных полезных ископаемых.— В кн.: Проблемы поверхностей выравнивания. М., «Наука», 1964.
289. Сигов А. П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М., «Недра», 1969.
290. Сидоренко А. В. Основные черты минералообразования в пустыне.— В кн.: Вопр. минералогии осад. образований, кн. 3 и 4. Изд-во Львовского гос. ун-та, 1956.
291. Сидоренко А. В. Доледниковая кора выветривания Кольского полуострова. М., Изд-во АН СССР, 1958.

292. Сидоренко А. В. Известковые накопления (каliche) в пустынях Мексики.— Изв. АН СССР, сер. геогр., 1958, № 1.
293. Сидоренко А. В. Некоторые вопросы изучения осадочного покрова Кольского полуострова.— В кн.: Вopr. геоморфологии и геологии осад. покрова Кольского п-ва. Апатиты, 1960.
294. Симмаков В. Н. Полевые почвенно-химические исследования района рр. Кети и Тьма в связи с явлением замора. Красноярск, 1928.
295. Симицын В. М. Палеогеография Азии. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1962.
296. Симицын В. М. Древние климаты Евразии. Ч. 1. Палеоген и неоген. Изд-во ЛГУ, 1965.
297. Симицын В. М. Древние климаты Евразии. Ч. 2. Мезозой. Изд-во ЛГУ, 1966.
298. Смирнов В. И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. Изд-во МГУ, 1957.
299. Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. Л., «Недра», 1965.
300. Смирнов Л. П. Древняя кора выветривания на кристаллических породах Анабарского щита.— Учен. зап. НИИГА, 1965, вып. 5.
301. Смирнов С. С. Полиметаллические месторождения Восточного Забайкалья.— Тр. ВГРО, № 327. Л.—М.—Новосибирск, 1933.
302. Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. Л.—М., ОНТИ геологоразвед. и геофиз. лит., 1936.
303. Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1955.
304. Собецкий В. А. Палеобиологические фауны и методика их выделения на примере сеноманского бассейна юго-запада Русской платформы.— «Палеонтол. журн.», 1966, № 4.
305. Современные проблемы теории геохимических поисков полезных ископаемых.— В кн.: Очерки геохимии эндогенных и гипергенных процессов. М., «Наука», 1966. Авт.: А. А. Сауков, А. И. Перельман, Ю. В. Шарков, Е. Н. Борисенко.
306. Соколов Н. Н. О возрасте и эволюции почв в связи с возрастом пород и рельефа.— Тр. Почв. ин-та им. Докучаева, 1932, вып. 6.
307. Соколова Е. И. Физико-химические исследования осадочных железных и марганцевых руд и вмещающих их пород. М., Изд-во АН СССР, 1962.
308. Соколова Е. И. О комплексных соединениях железа и алюминия с низкомолекулярными органическими кислотами.— В кн.: Миграция хим. элементов при процессе выветривания. «Наука», 1966.
309. Соколова Е. И., Листова Л. П., Вайнштейн А. З. Синтез ферро- и феррисиликатов.— ДАН СССР, 1954, № 6.
310. Соколова Е. П. Рентгенометрическое изучение слюд группы мусковита.— Тр. ВСЕГЕИ, 1963, т. 96.
311. Спиридонов А. И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований, ч. 1. Изд-во МГУ, 1956.
312. Спиридонов А. И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований, ч. 2. Изд-во МГУ, 1959.
313. Спиридонов А. И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований, ч. 1. Под ред. И. С. Шукина и Н. Я. Бобира. Изд-во МГУ, 1960.
314. Спиридонов А. И. Проблема поверхностей выравнивания в СССР.— БМОИП, нов. сер., т. 16. Отд. геол., 1961, т. 36, вып. 2.
315. Спиридонов А. И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований, ч. 3, вып. 1. Изд-во МГУ, 1963.
316. Спиридонов А. И. Основы общей методики полевых геоморфологических исследований, ч. 3, вып. 2. Изд-во МГУ, 1963.
317. Спиро Н. С. Связь состава поглощенного комплекса со средой осадкообразования. Докл. по опубл. работам на соискание учен. степени доктора геол.-минер. наук. Л., НИИГА, 1965.
318. Страхов Н. М. Историко-геологические типы осадконакопления.— Изв. АН СССР, сер. геол., 1946, № 2.

319. Страхов Н. М. Железородные формации и их аналоги в истории Земли.—Тр. ГИН АН СССР, сер. геол., 1947, вып. 73.
320. Страхов Н. М. Основы исторической геологии, ч. 1. Госгеолиздат, 1948.
321. Страхов Н. М. О принципах классификации гипергенных рудных месторождений.—ДАН СССР, 1953, т. 90, № 1.
322. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза, т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1960.
323. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза, т. 1. Изд. 2. М., Изд-во АН СССР, 1962.
324. Страхов Н. М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М., Госгеолтехиздат, 1963.
325. Страхов Н. М. Еще раз о так называемой вулканогенной гипотезе бокситообразования.—«Литол. и полез. ископ.», 1964, № 3.
326. Страхов Н. М., Залманзон Э. С. Распределение аутигенно-минералогических форм железа в осадочных породах и его значение для литологии.—Изв. АН СССР, сер. геол., 1955, № 1.
327. Страхов Н. М., Залманзон Э. С., Глаголева М. А. Очерки геохимии верхнепалеозойских отложений гумидного типа.—Тр. ГИН АН СССР, 1959, вып. 23.
328. Суходровский В. Л. Физическое выветривание горных пород в приледниковой зоне Земли Франца-Иосифа.—В кн.: Исслед. ледников и ледниковых р-нов, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1962.
329. Тараканов С. К., Лепехин А. И. Картирование мезокайнозойских депрессий и карманов коры выветривания методами структурной геофизики. Свердловск, 1966.
330. Тарасов Г. А., Сомов Г. М. Методика вертикальных электрических зондирований при определении мощности рыхлых отложений.—В кн.: Вопр. развед. геофизики, вып. 6. Л., «Недра», 1967.
331. Таруц С. М. Применение сейсморазведки в комплексе геофизических методов при изучении строения кристаллического фундамента в пределах КМА.—В кн.: Вопр. развед. геофизики. Л., «Недра», 1966.
332. Татаринов П. М. Процессы образования экзогенных месторождений.—В кн.: Курс м-ний полез. ископ. М., «Недра», 1964.
333. Теодорович Г. И. Минералы осадочных пород как показатели физико-химической обстановки.—В кн.: Вопр. минералогии, геохимии и петрографии. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946.
334. Теодорович Г. И. Осадочные геохимические фации.—БМОИП, нов. сер., т. 52. Отд. геол., 1947, т. 22 (1).
335. Теодорович Г. И. Сидеритовая геохимическая фация морей и вообще соленых вод как нефтепроизводящая.—ДАН СССР, 1949, т. 69, № 2.
336. Теодорович Г. И. Учение об осадочных породах. Л., Госоптехиздат, 1958.
337. Теодорович Г. И. Новые данные о минералого-геохимических фациях.—В кн.: Минералогия и фации битуминозных свит ряда областей СССР. М., Изд-во АН СССР, 1962.
338. Тепляков В. Л. Использование геофизических методов при изучении никеленой коры выветривания Восточного Оренбуржья.—В кн.: Тезисы докл. к Междувед. совещ. по корам выветривания Урала. Свердловск, 1966.
339. Толпор Н. Д. Дифференциально-термический и термовесовой анализ минералов. М., «Недра», 1964.
340. Тюрин Б. А. Геохимические особенности распределения титана в бокситах и глинах Амангельдинского бокситорудного района и их генезис.—В кн.: Кора выветривания, вып. 6. М., Изд-во АН СССР, 1963.
341. Тютюнов И. А. Процессы изменения и преобразования почв и горных пород при отрицательной температуре (криогенез). М., Изд-во АН СССР, 1960.
342. Ульянов Д. Г., Грицаенко Г. С., Крутов Г. А. Месторождения силикатно-никелевых руд Орско-Халиловского района. Тр. ВИМС, 1937, вып. 118.

343. Фагелер П. Основы учения о почвах субтропических и тропических стран. Изд. Сов. секции Междунар. ассоц. почвовед. М., 1935.

344. Фандерфлит Е. К. К вопросу о стратиграфии нижнекаменноугольных отложений Южного Тимана (по данным спорово-пыльцевого анализа).— В кн.: Мат-лы по геологии и полез. ископ. Северо-Запада РСФСР, вып. 3. Л., Гостоптехиздат, 1962.

345. Фатин В. И. Геофизические методы при поисках и предварительной разведке месторождений силикатных никелевых руд в Юго-Западном Присалаирье.— В кн.: Новые данные по геологии Алтайского края. Новосибирск, 1962.

346. Федынский В. В. Разведочная геофизика. Геофизические методы исследования земной коры, поисков и разведки полезных ископаемых. М., «Недра», 1964.

347. Ферсман А. Е. Геохимия России. Пг., 1922.

348. Ферсман А. Е. Геохимия, т. 2. Л., ОНТИ, 1934.

349. Ферсман А. Е. Избранные труды, т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1953.

350. Ферсман А. Е. Избранные труды, т. 5. М., Изд-во АН СССР, 1959.

351. Филатов С. С. Ускоренный метод определения обменных оснований в глинах.— В кн.: Исслед. минер. сырья. М., Госгеолтехиздат, 1955.

352. Философов В. П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Изд-во Саратовского гос. ун-та, 1960.

353. Фокин А. И. Поиски и разведка рудных месторождений электроразведочным методом отношения потенциалов. М., ВИМС, 1959.

354. Фокин А. Н., Семенова Г. А., Миляев А. С. Современные геолого-геофизические методы картирования кор выветривания при поисках рудных месторождений на примере региона аридной зоны.— В кн.: Кора выветривания, вып. 6. М., Изд-во АН СССР, 1963.

355. Фридланд В. М. О латеритах Северного Вьетнама.— В кн.: Кора выветривания, вып. 4. М., Изд-во АН СССР, 1962.

356. Фридланд В. М. Кора выветривания Северного Вьетнама.— В кн.: Кора выветривания, вып. 6. М., Изд-во АН СССР, 1963.

357. Хабаков А. В. Динамическая палеогеография, ее задачи и возможности.— Литол. сб., 1948, № 1.

358. Херасков Н. П. Геологические формации (опыт определения).— БМОИП, отд. геол., 1952, вып. 5.

359. Херасков Н. П. Геологические формации (опыт определения).— БМОИП, 1962, т. 27, вып. 5.

360. Херасков Н. П. Тектоника и формации. Избр. тр. «Недра», 1967.

361. Херасков Н. П., Разумова В. Н. Картирование месторождений коры выветривания.— В кн.: К методике геол. съемки при поисках и разведках м-ний полез. ископ. М., Госгеолтехиздат, 1955.

362. Цветков А. И., Вальяшихина Е. П., Пилюян Г. О. Дифференциальный термический анализ карбонатных минералов. М., «Наука», 1964.

363. Цехомский А. М. Кварцевые стекольные пески кембрийского периода в Ленинградской области.— В кн.: Геология СССР, т. 1. М., Госгеолтехиздат, 1956.

364. Цехомский А. М. Вопросы генезиса и распространения кварцевых маложелезистых песков.— «Геол. рудн. м-ний», 1959, № 4.

365. Цехомский А. М., Карстенс Д. И. Основные эпохи развития кор выветривания в мезокайнозойе на Сибирской платформе и их геологические особенности.— Тр. СНИИГГИМС, 1967, вып. 66.

366. Цехомский А. М., Карстенс Д. И., Хабибулина Ф. Я. Маршаллит в коре выветривания Енисейского кряжа.— Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., 1964, т. 118.

367. Цехомский А. М., Рундквист Д. В. О книге «Применение геохимических методов при металлогенических исследованиях рудных районов».— «Сов. геология», 1968, № 1.

368. Чайка В. М. Докембрийские эпохи химического выветривания.— В кн.: Мат-лы к совещ. «Общие закономерности геол. явлений», вып. 1. Л., 1965.

369. Чайкин С. И. Условия образования богатых железных руд Курской

- магнитной аномалии (КМА).— В кн.: Докл. сов. геологов (МГК, 22-я сессия). Латериты. М., «Недра», 1964.
370. Чемяков Ю. Ф. Морфология, генезис, возраст и условия формирования древних поверхностей денудационного выравнивания на юге Дальнего Востока СССР.— Тр. ВСЕГЕИ, 1963, т. 90.
371. Чемяков Ю. Ф. Геоморфологические циклы.— Изв. АН СССР, сер. геогр., 1964, № 4.
372. Чемяков Ю. Ф. Базисы денудации и аккумуляции.— В кн.: Мат-лы к совещ. «Общие закономерности геол. явлений», вып. 2. Л., 1965.
373. Черняховский А. Г. Элювий и продукты его переотложения.— Тр. ГИН АН СССР, 1966, вып. 145.
374. Четвериков С. Д. Руководство к петрохимическим пересчетам. М., Госгеолтехиздат, 1956.
375. Чухров Ф. В. Коллоиды в земной коре. М., Изд-во АН СССР, 1955.
376. Шагоянц С. А. Подземные воды центральной и восточной частей Северного Кавказа и условия их формирования. М., Госгеолтехиздат, 1959.
377. Шанцер Е. В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований.— Тр. ГИН АН СССР, 1966, вып. 161.
378. Шатский Н. С. Очерки тектоники Волго-Уральской нефтеносной области и смежных частей западного склона Южного Урала.— В кн.: Мат-лы к познанию геол. строения СССР. М., Изд-во МОИП, 1945.
379. Шатский Н. С. Фосфоритоносные формации и классификация фосфоритовых залежей.— В кн.: Совещ. по осад. породам, вып. 2. М., Изд-во АН СССР, 1955.
380. Шварцбах М. Климаты прошлого. М., Изд-во иностр. лит., 1955.
381. Швыряева А. М. Современное состояние и перспективы дальнейшего развития геоботанического дешифрирования при геологических исследованиях.— В кн.: Методы дешифр. аэрофотоматериалов при геол. исслед. М., «Недра», 1964.
382. Штейнберг Т. С. О комплексном применении геофизических методов при крупномасштабном картировании.— Зап. ЛГИ, 1961, т. 39, вып. 2.
383. Экспериментальные исследования в связи с изучением генезиса бокситов.— Информ. сб. ВСЕГЕИ, 1961, № 44. Авт.: Е. П. Левандо, В. М. Красикова, Е. В. Киселева, И. В. Стрельникова.
384. Юркевич И. А. Исследования по методике фациально-геохимического изучения осадочных пород. М., Изд-во АН СССР, 1958.
385. Якубовский Ю. Н., Ляхов Л. Л. Электроразведка. М., Госгеолтехиздат, 1956.
386. Ярусов С. С., Соколова М. Ф. О природе обменной кислотности почв и ее влиянии на рост растений.— В кн.: Известкование дерновоподзолистых почв. Сельхозгиз, 1955.
387. Adams J. A. S., Weaker C. E. Thorium to uranium ratios as indicators of sedimentary processes: example of concept of geochemical facies.— „Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.“, 1958, vol. 42, № 2.
388. Allen V. T. Effect of migration of clay minerals and hydrous aluminum oxides on the complexity of clay.— „J. Amer. Ceram. Soc.“, 1945, vol. 28, № 10.
389. Allen V. T. Petrographic relations in some typical bauxite and diasporic deposits.— „Bull. Geol. Soc. Amer.“, 1952, vol. 63, № 7.
390. Baas Becking L. G. M., Kaplan J. R., Moor D. Limits of natural environment in terms of pH and oxidation-reduction potentials.— „J. Geol.“, 1960, vol. 68, № 3.
391. Bailey J. W., Sinnott E. W. A botanical index of cretaceous and tertiary climates.— „Science“, n. s., 1915, № 41.
392. Bailey J. W., Sinnott E. W. The climatic distribution of certain types of Angiosperm leaves.— „Amer. J. Bot.“, 1916, vol. 3, № 1.

393. Bartholomé P. Corroded quartz grains in sedimentary ores of iron and manganese.— „Econ. Geol.“, 1966, vol. 61, № 5.
394. Biscaye P. E. Distinction between kaolinite and chlorite in recent sediments by X-ray diffraction.— „Amer. Miner.“, Menasha, 1964, vol. 49, № 9—10.
395. Bolder R., Weitz J. Mineralogy and origin of the Mercer Fireclay of North central Pennsylvania. Problems of clay and laterite genesis, 1952.
396. Bowen R. Paleotemperature analysis. Elsevier Publishing Company (Series Methods in Geochemistry and Geophysics, 2). Amsterdam, London, New York, 1966.
397. Brindley G. W. Structural relationships in the kaolin group of minerals. XVIII Intern. geol. Congr., great Britain, p. 13 (1948), 1952.
398. Brindley G. W., Gillery F. H. X-ray identification of chlorite species.— „Amer. Miner.“, 1956, vol. 41, № 3—4.
399. Brindley G. W., Comer V. V. Structure and morphology of kaolin clay from Les Eyzies.— „Clays and Clay Miner.“, 1956, Publ. 456.
400. Brindley G. W., Robinson R. Structure of kaolinite.— „Miner. Mag.“, 1946, № 27.
401. Brydon J. E., Clark J. S., Osborne V. Dioctahedral chlorite.— „Canad. Miner.“, 1961, vol. 6.
402. Cathcart J. B. Economic geology of the Keysville Quadrangle, Florida.— „Geol. Surv. Bull.“, Washington, 1963, vol. 82.
403. Chaney R. W., Sanborn R. I. The Geshen flora of west central Oregon (Carnegie Inst. of Washington Publ.), 1933.
404. Chatonier D. Contribution à l'étude de la minéralisation des eaux en rapporte avec la composition chimique du sous-sol. Clermont-Ferrand (Chapitre IV en particulier), 1957.
405. Clarke O. M. J. The formation of bauxite and Karst topography in Eufula district, Alabama and Jamaica.— „Econ. Geol.“, 1966, vol. 61, № 5.
406. Correns C. W. Die chemische Verwitterung der Silikate.— „Die Naturwissenschaften“, 1940, H. 28.
407. Correns C. W. The experimental chemical weathering of silicates.— „Clay Minerals Bull.“, 1961, vol. 4.
408. Dorman F. H. Australian Tertiary Paleotemperatures.— „J. Geol.“, 1966, vol. 74, № 1.
409. Ellis J. The Marievale granophyre — a metamorphic rock.— „Geol. Soc. South Africa Trans.“, 1947, vol. 50.
410. Finch J. W. The circulation of underground aqueous solutions and the deposition of lode ores.— „Colorado Sci. Soc.“, Poac., 1904, vol. 7.
411. Fox C. S. Bauxite and aluminous laterite. London, Crosby Lockwood and son, 1932.
412. Garrels R. M. Mineral equilibria at low temperature and pressure. New York, Harper, 1960.
413. Gjems O. Kaolin as a weathering product of Eocambrian sandstone (sparagmite) in the Rondane mountains, East Norway.— „Norsk Geol. Tidsskrift“, 1963, Bd 43, H. 4.
414. Green-Kelly P. Identification of montmorillonoides.— „J. Soil. Sci.“, 1953, № 4.
415. Harder E. C. Examples of bauxites illustrating variations in origin. Problems of clay and laterite genesis, 1952.
416. Harrasowitz H. Laterite. Berlin, 1926.
417. Harrison J. B. The katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions.— „Jmp. Bur. Soil. sci.“, 1933.
418. Heer O. Recherches sur le climat et la végétation du pays tertiaire. Winterthur, 1861.
419. Kelly W. C., Zumberge J. H. Rock weathering in the Antarctic area.— „Bull. Geol. Soc. Amer.“, 1960, vol. 71, № 12.
420. Khobloch E. Climatic changes in the Tertiary viewed from the standpoint of paleobotany (International Colloque).— „Vestnik Ustředního Ústavu Geologického“, 1967, Rocnik XLII, č. 1.

421. Kōster H. M. A contribution to the knowledge of Indian laterites.— „Records of the Geol. Surv. of India“, 1964, vol. 93, pt 2.
422. Krauskopf K. B. The geochemistry of silica in sedimentary environments. „Silica in sedim.“, Tulsa, 1959.
423. Krumbein W. C., Garrels R. M. Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials.— „Econ. Geol.“, 1952, vol. 60, № 1.
424. Kunze G. W. Anomalies in ethylene-glycol solvation technique.— „Clays and Clay Miner.“, 1955, Publ. 395.
425. Levinson A. A. Polymorphism among illites and hydrous micas.— „Amer. Miner.“, 1955, № 40.
426. Lindgren W. Métasomatic processes in fissure veins.— „Trans. Amer. Inst. Miner. Eng.“, 1901, vol. 30.
427. Lindgren W. Metasomatism.— „Bull. Geol. Soc. Amer.“, 1925, vol. 36.
428. Loughnan F. C., Bayliss P. The minerals of the bauxite deposits near Weipa, Queensland.— „Amer. Miner.“, 1961, vol. 46, № 1—2.
429. Lucas Y. La transformation des minéraux dans la sédimentation. Etudes sur les argiles du Trias.— „Mem. Sér. de la carte géol. d'Als. et de Lorr.“, 1962, № 23.
430. Mackenzie R. The differential thermal investigation of clays. London, 1957.
431. Maignen R. La cuirassement de sols en Guinée.— „Mem. Sér. de la carte géol. d'Als. et de Lorr.“, 1958, № 16.
432. Meredith E. Ostrom. Separation of clay minerals from carbonate rocks by using acid.— „J. sedim. Petrol.“, 1961, vol. 31, № 1.
433. Mooney R. W., Keenan A. G., Wood L. A. Adsorption of water vapor by montmorillonite.— „J. Amer. Chem. Soc.“, 1952, vol. 74, № 6.
434. O'Brian F. E. Control of humidity by saturated salt solutions.— „J. Sci. Instrum.“, 1948, 25.
435. Okamoto G., Okura T., Goto K. Properties of silica in water.— „Geochimica et Cosmochimica“, Acta, 1957, vol. 12, № 1—2.
436. Pedro G. Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. Inst. National de la Recherche agronomique, Paris, 1964.
437. Pedro G. Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles (cycle aluminosilicique).— „Comptes rendus heb. des séances de l'Acad. des sciences“, Sér. D, Paris, 1966, t. 262, № 17.
438. Pedro G. Distribution des principaux types d'altération chimique à la surface du globe. Présentation d'une esquisse géographique.— „Revue de géographie physique et de géologie dynamique“, Paris, 1968, t. 10, fasc. 5.
439. Pickering R. J. Some leaching experiments on three quartz-free silicate rocks and their contribution to an understanding of lateritization.— „Econ. Geol.“, 1962, vol. 57, № 8.
440. Ransome F. L. The association of alunite with gold in goldfield Newada.— „Econ. Geol.“, 1907, vol. 2.
441. Roberson H. E. Petrology of tertiary bentonites of Texas.— „J. sedim. Petrol.“, 1964, vol. 34, № 2.
442. Robertson R. H. S., Ward R. M. The assay of pharmaceutical clays.— „J. Pharmacol.“, 1951, vol. 3, № 1.
443. Schwarzbach M. Das Klima des rheinischen Tertiärs.— „Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft“, 1968, Bd 118, T. 1.
444. Smothers W. Y., Yao Chiang. Differential thermal analysis theory and practice. New York, 1958.
445. Stephen J., MacEwan D. M. C. Chloritic clay minerals.— „Clay Miner.“, 1949, bull. 1.

446. Sudo T. Mineralogical study of Clays of Japan. Maruzen Co. Ltd., Tokyo, 1959.
447. Trask P. D., Patnode H. W. Source beds of Petroleum.— „Amer. Assoc. Petr. Geol.“, Tulsa, Oklahoma, 1942.
448. Van Hise. A treatise on Metamorphism.— „U. S. Geol. Surv.“, Washington, 1904, Bull. 47, № 1.
449. Walker G. F. Mechanism of dehydration of Mg-vermiculite.— „Clays and clay Miner.“, 1956, Publ. 456.
450. Walker G. F. Reaction of expanding-lattice clay minerals with glycerol and ethylene-glycol.— „Clay Miner. Bull.“, 1958, vol. 3, № 20.
451. Weaver C. E. The effects and geologic significance of potassium „fixation“ by expandable clay minerals derived from muscovite, chlorite, biotite and volcanic material.— „Amer. Miner.“, 1958, vol. 43, № 9—10.
452. Wyart J., Oberlin A., Tchoubar C. Étude en microscopie électronique et microdiffraction électronique de la boehmite formée lors de l'altération de l'albite. C. R. Acad. Sci, 1963.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Проблема изучения кор выветривания. <i>А. М. Цехомский</i>	6
Основные понятия, связанные с характеристикой кор выветривания. <i>А. М. Цехомский</i>	11
Зона гипергенеза	12
Кора выветривания	23
Формация коры выветривания	29
Понятие об элементарном ландшафте	34
Условия формирования и сохранность кор выветривания. <i>А. М. Цехомский</i>	37
Формирование кор выветривания	37
Сохранность кор выветривания	63
Классификация кор выветривания	73
Основные вопросы методики регионального изучения кор выветривания. <i>А. М. Цехомский</i>	81
Общие положения	81
Распространение и изученность кор выветривания	82
Принципы картирования кор выветривания	82
Общие исследования при картировании кор выветривания	100
Геоморфологические исследования при картировании кор выветривания. <i>Д. И. Карстенс</i>	110
Главнейшие методы, применяемые при геоморфологических исследованиях	111
Особенности геоморфологических исследований при картировании кор выветривания	120
Петрографо-минералогические исследования кор выветривания алюмосиликатных пород. <i>Г. В. Куликова</i>	123
Метод красителей	123
Петрографический анализ	123
Гранулометрический анализ	125
Рентгеноструктурный анализ	126
Термический анализ	135
Электроннография и электронно-микроскопический анализ	136
Геохимические исследования при изучении кор выветривания. <i>Б. М. Михайлов</i>	138
Характеристика физико-химических обстановок	138
Методы исследования	144
Энергетический анализ процессов выветривания	147
Оценка миграции химических элементов	156
Приемы изображения результатов расчета подвижности окислов (элементов)	164
Анализ связей между элементами в условиях выветривания	167
Математические методы оценки миграционной способности химических элементов применительно к корам выветривания. <i>Ю. К. Бурков, И. А. Гимпельсон</i>	169

Девонские неветренные глинистые породы	172
Кора выветривания девонских глинистых пород	173
Породы бокситоносной пачки	175
Роль палеоботаники в восстановлении климатических условий прошлого.	
<i>И. В. Васильев, Д. И. Карстенс</i>	180
Влияние различных климатических факторов на растения	181
Поясная зональность и формирование растительных группировок	184
Вертикальная зональность и формирование растительных группировок	186
Возможность определения палеоклиматов на основании анализа состава древних растительных комплексов	187
Список литературы	195

Министерство геологии СССР
Всесоюзный ордена Ленина научно-исследовательский геологический институт
(ВСЕГЕИ)

ОСНОВЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Редактор *В. А. Митракова*
Технический редактор *Т. В. Гвоздева*
Корректоры *Л. В. Белова* и *Г. А. Полиевская*

М-26147

и 1 вкладка (офсетная).

Тираж 800 экз.

Подписано к печати 26/XI 1974 г.

Уч.-изд. л. 18,41.

Зак. № 673.

Объем 13,5 печ. л.+2 вклейки

Формат бумаги 60×90^{1/16}.

Цена 1 р. 65 к.

Ленинградская картографическая фабрика объединения «Аэрогеология»

Классификация кор выветривания (схема)
(Составлена по материалам И. И. Гинзбург, Б. Б. Полюнова, С. С. Смирнова, А. Г. Бегехтина, Г. И. Бушинского, А. И. Перельмана, В. И. Смирнова, А. А. Иванова, А. М. Цехомского, Д. И. Карстена)

Группа	Основной процесс выветривания	Геохимический тип	Минеральный вид	Породы субстрата	Продукты последней стадии выветривания		Условия формирования				Строение и морфология кор выветривания	Характерные полезные ископаемые формации коры выветривания				
					Типичные аутигенные минералы	Остаточные продукты	Климат	Тип рельефа	Элементарный геохимический ландшафт	Характер среды (коэффициент стадийности)		Остаточные и метасоматические	Осложненные			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
Кора химического выветривания	Окисление и почвенный гидролиз	Латеритный	Гиббситовый (алютино-железистый)	Различные алюмосиликатные породы, преимущественно магматические и метаморфические основного и среднего состава, а также материал, накапливающийся при выветривании карбонатных пород (терра-росса)	Гиббсит, бемит, каолинит, галлаузит, лейкоксен, окислы и гидроксиды железа и марганца	Рыхлая или плотная глиноподобная порода бурого, красного и желтого цвета с кремнистыми и железисто-глиноземистыми стяжками от пизолитовых зерен до сплошных плотных горизонтов с реликтами реликтами первичных минералов	Гумидный тропический и как исключение субтропический	Денудационная расчлененная равнина, плато и педипланы ¹	Элювиальный	Слабокислая	Площадные и линейные коры преимущественно сложного строения	Бокситы, каолины, концентрации титановых минералов, минералов редкоземельных элементов	Бокситы, руды железа, марганца, россыпи титановых минералов			
			Гетит-гематит-гиббситовый (ферриалитный-окристый)	Различные силикатные породы, богатые железом, преимущественно магматические и метаморфические ультраосновного и основного состава	Окислы и гидроксиды железа и марганца, гиббсит, каолинит, галлаузит, лейкоксен								Руды железа, марганца, никеля, кобальта, хрома; магнетит; концентрации алмазов, платины, минералов редкоземельных элементов	Руды железа, марганца, бокситы россыпи титановых минералов, платины, хромита; огнеупорные глины		
			Моносалитный	Каолинитовый	Различные алюмосиликатные магматические и метаморфические породы, главным образом кислого и среднего состава, а также осадочные породы — крупнообломочные, песчаные и глинистые	Каолинит, галлаузит, гидрослюда	Глинистые, иногда оруденелые (окристые) породы бурого, светлого-желтого до почти белого цвета с реликтами первичных минералов, местами с рудными конкрециями	Гумидный субтропический и умеренный	Денудационные равнины, низкие плато и педипланы	Элювиальный и гидроморфный ²	«	Площадные и линейные коры различной сложности	Каолины; концентрации касситерита, вольфрамит, берилла, висмута, золота, минералов редкоземельных элементов; пески глинистые (формовочные)	Вторичные каолины, огнеупорные глины, кварцевые пески, россыпи циркона, золота, касситерита, вольфрамит, монацита, титановых минералов и радиоактивных элементов		
				Галлаузитовый	Алюмосиликатные магматические и метаморфические породы, главным образом среднего и основного состава	Галлаузит, каолинит, монтмориллонит							Монтмориллонитово-бейделлитовые глины (адсорбционные и др.), концентрации титановых минералов, алмазов, платины	Монтмориллонитово-бейделлитовые глины, руды железа и марганца, россыпи титановых минералов, платины, хромита, алмазов		
			Силитный	Монтмориллонитовый и бейделлит-монтмориллонитовый	Алюмосиликатные породы, главным образом метаморфические и магматические ультраосновного и основного состава, в особенности богатые стеклом эффузивы (включая и кислые) — пемзы, пеплы, туфы	Монтмориллонит, бейделлит, гидрохлорит, галлаузит										
				Нонтронитовый (сиалитно-магнезиальный)	Магматические и метаморфические породы преимущественно ультраосновного, реже основного состава (перидотиты, пироксениты, дозериты, серпентиниты, хлоритовые сланцы и др.)	Нонтронит, гидрохлорит, монтмориллонит, каолинит, карбонаты										
	Гидрохлоритовый (сиалитно-магнезиальный)			Гидрохлорит, монтмориллонит, бейделлит, нонтронит, карбонаты, каолинит			Гумидный умеренный до холодного	Денудационные равнины и низкие плато	Элювиальный и гидроморфный ³	Нейтральная до слабощелочной			Руды железа, марганца, никеля, кобальта; скопления минералов редкоземельных элементов	Руды железа, марганца, россыпи платины, хромита, алмазов		
	Гидрослюдистый сиалитно-щелочной	Различные алюмосиликатные магматические и метаморфические породы преимущественно щелочного, кислого и среднего состава, а также осадочные породы — крупнообломочные, песчаные и глинистые		Гидрослюда, вермикулит, гидрохлорит							Слабокислая	Преимущественно площадные коры простого строения	Глины тугоплавкие	Глины тугоплавкие, кирпичные, возможно россыпи золота, касситерита, циркона, монацита, титановых минералов		
	Бисилитный	Вермикулитовый сиалитно-щелочной	Преимущественно метаморфические и жильные гидротермальные породы, богатые биотитом и флогопитом	Вермикулит, сунгулит, гидрослюда, гидрохлорит	Различные породы, слабо или заметно измененные (местами рыхлые, ожелезненные), сохранившие первоначальную структуру							Площадные и локальные коры различной сложности	Вермикулит	?		
		Глинисто-хлоридный	Песчано-глинистые породы, обогащенные хлоридами (галит, сильвин, карналлит и др.)	Гипс, ангидрит	Песчано-глинистые породы различного состава	Аридный и слабогумидный тропический и субтропический			Элювиальный		Площадные и локальные коры простого и сложного строения	Гипс, ангидрит ⁴	Гипс ⁴			
	Удаление из пород легкорастворимых минералов	Выщелачивание	Выщелоченных глинистых и карбонатных пород (карстовый)	Глинисто-сульфатный	Сульфаты и стельфатонные песчано-глинистые породы (гипс, ангидрит, тенардит, мирабилит и т. д.)	Гипс, ангидрит, мирабилит							Мирабилит, тенардит, эпсомит и др. ⁴	Мирабилит, тенардит и др. ⁴		
				Глинисто-боратный	Бораты и бороносные песчано-глинистые породы (?)	Гипс, бораты								Ашарит, улексит и др. ⁴	Ашарит, улексит и др. ⁴	
Глинисто-карбонатно-кальцевый				Известняки, мраморы	Кальцит, фосфаты, минералы кремнезема		Гумидный тропический до умеренного						Доломитовая мука (при выветривании доломитизированных известняков), фосфориты, маршаллиты, в тропических условиях — терра-росса	Фосфориты		
Глинисто-карбонатно-магнезиальный				Доломиты, магнезиты	Кальцит, минералы кремнезема			Денудационные равнины и плато			Нейтральная до слабощелочной		Доломитовая мука			
Маршаллитовый ⁵				Метасоматические кварциты, возникающие преимущественно по карбонатным породам, и яшмы	Гидроксиды железа, марганца, минералы кремнезема	Пылевидный кварц				Элювиальный и гидроморфный		Площадные коры простого строения	Маршаллит, железистый маршаллит, марганцевые руды (при выветривании яшмы)	Маршаллит, накопления железа и марганца		
Песчаный ⁵				Песчаники с различным цементом, преимущественно карбонатным	Кальцит	Пески различного состава							Пески (в зависимости от состава терригенного материала — кварцевые, полевошпато-кварцевые и т. д.)	Пески различного состава		
Алевритовый ⁵				Алевриты с различным цементом, преимущественно карбонатным	«	Алевриты различного состава							Формовочный материал (алеверитистые пески)	Формовочный материал (алеверитистые пески)		
Глинистый				Карбонатно-глинистые породы (мергели и т. д.)	«	Глины с реликтами карбонатного вещества										
Окисление и испорчение органического вещества				Окисление руд и мустооболитов	Окисленных руд	Окисленных сульфидов, карбонатов и прочих рудных минералов, содержащих значительное количество органического вещества	Залежи сульфидных руд различного состава	Окислы и гидроксиды железа, марганца, кварца, карбонаты, фосфаты, сульфаты различных металлов	Железные и марганцевые шпалы; связанные с ними вторичные ореолы рассеяния и зоны обескисления вмещающих месторождения пород	Преимущественно гумидный тропический до умеренного	Денудационные равнины, плато, педипланы	Элювиальный	Кислая (рН до 2—1)	Локальные и линейные коры сложного строения	Зона окисления (железная шляпа — выщелоченные и окисленные руды, вторичные ореолы рассеяния; новообразования свинца, цинка, никеля, железа, марганца и др.)	Руды меди, железа, марганца, золота, урана, никеля, кобальта, отчасти серы и др.
						Окисленных карбонатных руд	Карбонатные руды железа и марганца	Окислы и гидроксиды железа, марганца					Нейтральная			Железные и марганцевые шпалы (минералы окисленных руд — гематит, гетит, гидрогетит, турцит, лимонит)
	Окисленных магнетитовых руд	Железные магнетитовые кварциты	Мартит, гематит (мартит), гидрогематит, минералы кремнезема			Залежи мармитовых руд					Нейтральная до слабощелочной		Богатые мартит-гематит-лимонитовые руды	Железные руды		
	Обескисленных пород, содержащих сульфиды	Различные осадочные, метаморфические, жильные породы со значительным содержанием сульфидов	Породы, обескисленные в результате удаления большей части железа не только сульфидов, но и других минералов								Кислая (рН = 6—3)		Ожелезненные породы различного состава, в частности кварцевые пески	Железные руды		
Вынос глинистых алевритовых, иногда песчаных, частей из обломочных пород	Удаление вещества в твердом состоянии	Суффозионный	Сажистый	Угли преимущественно бурые	Остаточный песчано-глинистый и углистый материал	Преимущественно гумидный тропический до умеренного	Денудационные равнины	Преимущественно элювиальный	Нейтральная и слабощелочная	Локальные коры простого строения						
			Силикатно-сажистый	Углистые породы, в том числе горючие сланцы	То же											
			Параозокеритовый (киры)	Нефть	Асфальтиты, кировые образования								Асфальтиты			
Кора смешанного генезиса	Поступление вещества в результате капиллярного движения растворов (нисходящего и восходящего) и алевритовых частей	Аккумуляция вещества	Инфильтрационный (аккумулятивно-гидроморфный)	Песчаный ⁶	Пески разного состава, нередко со значительным примесью алеврито-глинистого материала	Пески с незначительным содержанием алеврито-глинистых фракций	Гумидный различных климатических зон, кроме арктической	Денудационные равнины и плато	Элювиальный и гидроморфный	Преимущественно нейтральная	То же	Пески с малым содержанием алеврито-пелитовых фракций, в том числе стекловидные и формовочные				
				Песчано-гравийно-галечный ⁶	Песчано-гравийно-галечные образования нередко со значительной примесью алеврито-глинистого материала	Песчано-гравийно-галечные образования с незначительным содержанием алеврито-глинистых и мелкопесчаных фракций							Локальные и площадные коры различной сложности	Залежи высококачественного строительного гравийно-галечного материала		
				Сульфатный	Различные породы, преимущественно рыхлые, осадочного генезиса	Преимущественно рыхлые породы, обогащенные различными сульфатами (гипс, мирабилит, эпсомит, тенардит, астраханит и др.)		Аридный, преимущественно тропический и субтропический				Нейтральная до слабощелочной			Скопления гипса (отдельные стяжения и глино-гипсовые породы), селитра, известковые образования, возможно концентрации минералов редких элементов	
				Хлоридно-нитратный		Преимущественно рыхлые породы, обогащенные хлоридами и нитратами (галит, сильвин, карналлит, селитра и др.)										
				Карбонатный		Преимущественно рыхлые породы со стяжениями кальцита, сидерита, с известковистыми горизонтами (каliche)										
				Кремнистый		Песчано-глинистые, карбонатные и другие породы, слякцифицированные в пределах неправильных участков и горизонтов; аутигенные — опал, хацедол, кварц									Кварцитовидные песчаники	
Выявление глинистых алевритовых частей	Кольматационный	Глинисто-песчаный ⁶	Пески различного состава	Пески и гравийно-галечные породы, неравномерно обогащенные алеврито-глинистым материалом (заваление)		Гумидный различных климатических зон	Денудационные равнины	То же	Нейтральная	Локальные коры простого строения	Формовочные пески (жирные и полужирные)					
			Глинисто-песчано-гравийно-галечный ⁶	Песчано-гравийно-галечные образования												
Кора физического выветривания	Морозное выветривание	Обломочный	Соответствует составу пород субстрата	Разнообразные породы	Глибовый, древесный и более мелкий материал исходных пород	Ледовый	Денудационные равнины, плато, педипланы	Элювиальный и гидроморфный	Нейтральная до слабощелочной	Площадные коры простого строения	Естественные строительные материалы					
														Аридный тропический и субтропический	Элювиальный	Нейтральная до слабощелочной

¹ По В. М. Девису [124], педиплан — комплекс выровненных участков нижней части склонов гор (педиментов).
² В условиях гидроморфного ландшафта моносалитные коры образуются также в тропическом климате.
³ В условиях гидроморфного ландшафта бисилитные коры образуются также в субтропическом климате.
⁴ Указанные полезные ископаемые образуются при выветривании галогенных пород, только в аридном климате.
⁵ Минеральный вид соответствует составу остаточной части исходных пород и вымываемых (кольматационный тип) компонентов.

Цена 1 руб. 65 коп.

1284