

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ
И НАПРАВЛЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
ВЫВЕТРИВАНИЯ В СЕВЕРНОЙ И ЮЖНОЙ ГУМИДНЫХ ЗОНАХ
(по гидрогеохимическим данным)***

С. Л. ШВАРЦЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры гидрогеологии
и проблемной геологической лаборатории)

Вопрос о причинах различной направленности процессов выветривания в северной и южной гумидных зонах, несмотря на многочисленные публикации, остается спорным. Совсем недавно дискуссия по этому поводу развернулась на страницах журнала «*Geochimica et Cosmochimica Acta*» (Curtis, 1970, Brydon and McKeague, 1971). Для объяснения наблюдаемых различий в характере кор выветривания обычно привлекаются такие факторы, как величина среднегодовых температур, количество выпадающих осадков, интенсивность выноса алюминия и кремния, роль органических веществ в миграции элементов и так далее.

Что касается интенсивности современных процессов химического выветривания в этих двух зонах, то этот вопрос остается малоосвещенным в литературе. В лучшем случае приводится сравнение величин механической и химической составляющей продуктов выветривания, рассчитанной по объему выноса химических элементов реками в растворенной и взвешенной формах. Исходя из такого сравнения, как правило, делается вывод о незначительном масштабе химического выветривания в северных районах.

Между тем знание масштабов и направленности процессов современного химического выветривания важно не только для понимания условий формирования древних кор выветривания, но и решения многих смежных проблем литологии, гидрогеологии, геохимии, почвоведения и т. д.

Процессы выветривания обычно изучаются путем сравнительного анализа выветривающихся пород и продуктов их химической переработки — кор выветривания. Однако для этих же целей может быть применен и другой подход, основанный на изучении объема элементов, выносимых подземными водами, и сравнении соотношений элементов в водах с составом выщелачиваемых пород. Этот метод, который можно назвать гидрогеохимическим, был сформулирован еще Б. Б. Полюновым (1956) в виде известного положения о различной подвижности элементов в водах и позже развит А. И. Перельманом (1966). Однако в практике исследований он применяется крайне редко и все его возможности и преимущества используются далеко недостаточно. Преимущества же этого метода состоят в том, что он позволяет достаточно объективно оценить не только масштабы, но и направленность современных процессов выветривания в различных климатических зонах, т. е. изу-

* Доложено в Москве на совещании по корам выветривания 24 октября 1973 г.

читать как раз те вопросы, которые ускользают от внимания исследователей при традиционном подходе к изучению кор выветривания.

Применим гидрогеохимический метод для решения поставленных выше задач, для чего последовательно рассмотрим особенности геохимии подземных вод двух резко различных в климатическом отношении районов, где нами в течение нескольких лет проводились соответствующие исследования. Это северо-западная часть Сибирской и западная Африканской платформ.

Геохимия подземных вод Игарско-Норильского района

Исследованный район охватывает западную часть Средне-Сибирского плоскогорья с абсолютными отметками до 500 м и относится к переходной тундрово-таежной зоне. Климат района по своим характерным особенностям является переходным между резко континентальным и чисто полярным со среднегодовыми температурами от -7 до -12°C . Среднее количество осадков, большая часть из которых выпадает в летний период, составляет 350—450 мм/год.

Короткое лето и низкие температуры обуславливают небольшое испарение, а следовательно, высокое значение коэффициентов стока. Несмотря на то, что большая часть стока совершается в форме поверхностного и коэффициент подземного стока составляет только 10—15, реже 20—25%, в абсолютном значении величина подземного стока по нашим расчетам достигает в Норильском районе 4,0, а в других — 2,5—3,2 л/сек·км².

Формированию активного стока способствует наличие мерзлоты, мощность которой в Норильском районе достигает 400 м, а в районе г. Игарки — 60 м. По долинам рек развиты талики. Температура мерзлых пород достигает $-6,7^{\circ}\text{C}$, мощность деятельного слоя составляет 0,5—3,0 м. Большая часть подземного стока связана с деятельным слоем, подземные воды которого мы и будем в дальнейшем рассматривать. Важно подчеркнуть и то обстоятельство, что таяние мерзлоты в течение всего летнего сезона приводит к повышенной влажности деятельного слоя даже на хорошо дренируемых участках.

Разнообразие геологических условий рассматриваемого региона в значительной мере определяет и разнообразие состава надмерзлотных вод, что требует разделения последних на соответствующие комплексы. Такое разделение нами проведено с учетом генетического типа и литологического состава пород (табл. 1). В указанной таблице суммирован также основной фактический материал по составу вод разнообразных комплексов пород. Как видно из приведенных данных, влияние типа водовмещающих пород на состав вод достаточно велико, особенно в случае наличия карбонатных и карбонатно-гипсоносных отложений, которые способствуют резкому повышению величины рН, содержанию кальция, магния, сульфат- и гидрокарбонат-ионов. В то же время содержания кремния и алюминия остаются незначительными, что говорит о наличии здесь обычного растворения пород, несколько усложненного выветриванием присутствующих силикатных минералов. Такое растворение с точки зрения вопросов формирования кор выветривания большого интереса не представляет и поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать воды только трех последних комплексов.

В этом случае прежде всего бросается в глаза идентичность состава вод, несмотря на различие литологического состава и структурных особенностей водовмещающих пород. Это выражается как в величине их общей минерализации, так и содержании всех компонентов. Такое положение объясняется близостью ландшафтно-геохимических условий

формирования этих вод и единым характером развивающихся процессов выветривания. В таких условиях состав вод складывается из состава выпадающих атмосферных осадков, а также ионов, заимствованных из вмещающих пород и синтезированных из воды и углекислого газа (ион HCO_3^-). Зная соотношение всех перечисленных составляющих воды и ее расход в единицу времени, можно рассчитать объем выноса химических элементов из пород, а следовательно, и минимальные масштабы современного химического выветривания. Проведенные нами таким путем расчеты (табл. 2) показали, что объем выносимых из пород элементов составляет $0,186 \text{ г/сек} \cdot \text{км}^2$ или $5,85 \text{ т/год} \cdot \text{км}^2$, что близко к значениям модуля подземного химического стока, рассчитанного Ф. А. Макаренко и В. П. Зверевым (1970), для зоны тундры и тайги соответственно $0,144$ и $0,389 \text{ г/сек} \cdot \text{км}^2$.

Переходя к выяснению направленности процессов выветривания в северной климатической зоне, важно обратить внимание на характер изменения состава надмерзлотных вод в направлении от водоразделов к долинам рек. Обобщение огромного фактического материала в этом плане выявило любопытную закономерность, заключающуюся в том, что при движении подземных вод вниз по склону происходит рост значений pH, общей минерализации, но уменьшение парциального давления углекислого газа и, что очень важно, содержание кремнезема (табл. 3). Четких закономерностей в поведении алюминия и калия не обнаружено, хотя чаще всего их содержания также несколько уменьшаются в направлении движения подземных вод.

Такое, на первый взгляд, необычное поведение кремния, алюминия и калия объясняется тем, что наибольшие концентрации этих элементов связаны с водораздельными пространствами, точнее с почвенными наиболее кислыми и наименее минерализованными водами. А это, в свою очередь, свидетельствует о связи источников этих элементов с почвенными горизонтами. Такое положение не является специфичным только для изучаемого нами региона, а является общим для всей северной гумидной зоны и заключается оно в том, что, как это показано в обобщающей работе В. А. Ковды (1973), почвенные растворы всегда более богаты кремнеземом, чем подпочвенные грунтовые воды. Это же характерно и для калия.

Уменьшение содержания кремнезема и калия в подпочвенных водах по сравнению с почвенными — факт, который имеет принципиальное значение, так как свидетельствует о том, что геохимия этих элементов в зоне гипергецеа прежде всего определяется интенсивностью их биологического круговорота. Именно почвы, непрерывно пополняющие свой запас элементов за счет ежегодного опада, питают инфильтрующиеся атмосферные осадки в первую очередь биогенными элементами, к которым относятся кремний и калий. Перемещаясь затем вниз по разрезу, эти воды не просто выщелачивают вмещающие породы, но, взаимодействуя с ними, приводят к образованию вторичных минералов и прежде всего глинистых. Синтез глин из элементов водного раствора в почвенных и подпочвенных горизонтах описан во многих работах, список которых можно найти в уже упоминавшейся работе В. А. Ковды (1973), а также Ж. Милло (1968). Именно глинообразованием объясняется уменьшение содержаний кремния, калия и некоторых других элементов в водах после прохождения ими почвенного слоя.

Для того, чтобы ответить на следующий вопрос, а именно: в образовании каких глинистых минералов участвуют кремнезем и калий воды, рассмотрим диаграмму соотношения устойчивости основных калиевых минералов с нанесением на нее данных по подземным водам (рис. 1).

При построении этой диаграммы нами использованы данные, при-

Таблица 1

Средний химический состав подземных вод зоны активного водообмена северо-запада Сибирской платформы, мг/л

Водовмещающие отложения	Число анализов	pH	Fe ³⁺	SiO ₂	Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+	K+	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Общая минерализация
Карбонатные	68	7,4	0,21	2,63	0,22	43,5	33,2	8,2	0,6	313	16,4	0,0	413
Карбонатно-гипсоносные	35	7,5	0,11	2,86	0,28	234,0	29,3	42,4	2,6	183	14,5	555	1115
Песчано-угленосные	227	6,9	0,20	8,38	0,34	19,1	5,7	14,8	1,4	103	15,0	12,9	171
Основные эффузивы	150	7,2	0,22	8,15	0,41	24,6	13,2	10,9	0,9	88	9,4	27,0	174
Основные интрузивы (траппы)	123	6,8	0,26	11,4	0,52	13,2	5,2	13,4	1,6	54	10,9	17,5	115

Таблица 2

Расчет масштабов выноса химических элементов из выветривающихся пород

Средний состав, мг/л	Fe ³⁺	SiO ₂	Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+	K+	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Сумма	Вынос,* г/сек км ²
1 Подземных вод	0,23	9,31	0,42	18,9	8,0	13,0	1,3	81,6	11,8	12,4	158,0	—
2 Атмосферных осадков	0,06	0,22**	—	1,7	1,0	—	5,4	16,3	10,6	0,2	39,1	—
3 Разность между 1 и 2	0,17	9,09	0,42	17,2	7,0	—	8,9	65,3	1,2	12,2	118,9	—
4 После пересчета в окисную форму и исключения ионов	0,24	9,09	0,79	24,0	11,7	—	15,1	—	1,2	—	62,1	0,186

* Модуль подземного стока принят равным 3,0 л/сек·км².

** По Вотинцеву (1954), для осадков Прибайкалья.

Таблица 3

Химический состав подземных вод в пределах массива основных пород, мг/л (бассейн р. Северной)

№ пробы	Геоморфологическое положение родника	pH	Fe ³⁺	NH ₄ ⁺	SiO ₂	CO ₂ св	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na++K+	Общая минерализация	PCO ₂
262	Водораздел	6,2	1,5	1,5	9,9	17,6	18,3	4,0	7,1	0,0	3,6	6,9	39,9	10 ^{-2,0}
259	Верхняя часть склона	6,4	0,3	1,5	8,5	8,8	36,6	0,0	7,1	2,0	2,4	13,5	61,8	10 ^{-1,9}
263	Нижняя часть склона	6,8	0,3	1,0	7,4	8,8	48,8	10,0	10,5	12,0	4,8	9,2	101,9	10 ^{-2,2}
267	Долина	7,3	0,1	1,0	7,1	13,2	61,0	35,0	14,2	15,0	6,0	20,7	149,4	10 ^{-2,6}

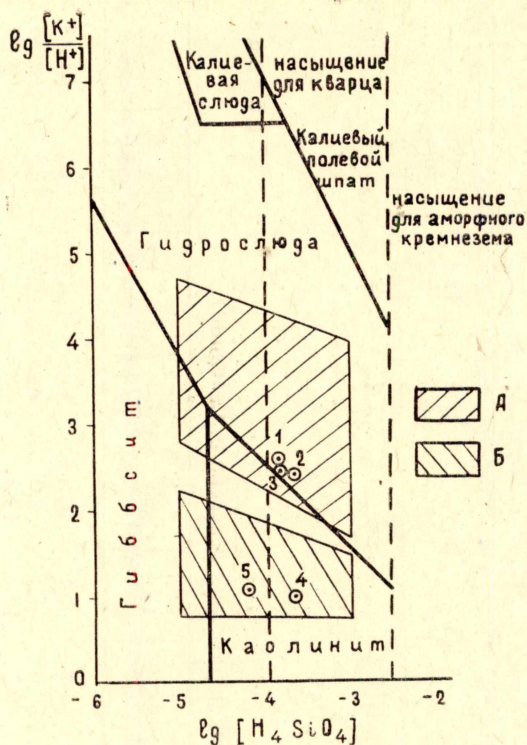


Рис. 1. Устойчивые соотношения некоторых фаз в системе $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ при $25^\circ C$ и 1 атм с нанесением данных по составу вод. Средний состав воды: 1 — основных эффузивов; 2 — основных интрузивов; 3 — песчано-угленосных отложений (северо-запад Сибирской платформы); 4 — гранито-гнейсов Берега Слоновой Кости; 5 — магматических пород различного состава западной части Гвинеи. А — поле распространения подземных вод северо-запада Сибирской платформы; Б — то же Гвинеи и Берега Слоновой Кости.

веденные в работе Р. М. Гаррелса и Ч. Л. Крайста (1968), а также наши неопубликованные данные по расчету равновесий гидрослюды с водными растворами, полученными при длительном хранении подземных вод бассейна р. Курейки, из которых выпадала в осадок гидрослюда. Это позволило нам показать на прилагаемой диаграмме поле устойчивости гидрослюды, что не было сделано Р. М. Гаррелсом и Ч. Л. Крайстом. Положение полей устойчивости калиевых слюды и полевого шпата нами дано без изменений по работе уже упоминавшихся авторов.

Изучение приведенной диаграммы (рис. 1) показывает, что поле расположения подземных вод трех рассматриваемых комплексов почти полностью вмещается в поле устойчивости гидрослюды. В пределах последнего располагаются также точки, отражающие средний состав изученных нами подземных вод. Все это позволяет заключить, что современные процессы выветривания в рассматриваемой климатической зоне приводят прежде всего к образованию гидрослюды, реже монтмориллонита, поле устойчивости которого на диаграмме не показано, и крайне редко каолинита и гиббсита.

Приведенные данные хорошо согласуются с известными фактами широкого распространения гидрослюды в северных районах, включая почвы, коры выветривания и даже подземные воды, которые содержат эти минералы в тонкоколлоидном состоянии. Образуются гидрослюды как по первичным минералам при перестройке их кристаллической решетки, так и непосредственно из вод в результате процессов синтеза. Современные каолинит и гиббсит в строгом соответствии с полученным характером диаграммы встречаются крайне редко, но образование их в этих условиях не противопоказано.

Геохимия подземных вод Западной Африки

Рассматривается на примере территории Гвинеи, где нами проводились исследования (Шварцев, 1971, 1972), и Берега Слоновой Кости (Roug rie, 1960; Tardy, 1969). Этот регион характеризуется типично тро-

пическим и экваториально-тропическим климатом с резко выраженными двумя сезонами года: сухим и влажным. Количество атмосферных осадков превышает 1500 и достигает 4500 мм. Среднегодовые температуры колеблются в пределах 24—28°C. Величина подземного стока достигает 20 л/сек км² (Шварцев, 1971). В ландшафтном отношении преобладают тропические леса и высокотравная саванна. Геологические условия описаны Б. М. Михайловым (1969).

Характерной особенностью грунтовых вод этого региона является их повышенная кислотность и пониженная величина общей минерализации (табл. 4), что обусловлено интенсивным водообменом и высокой биологической активностью ландшафта.

По аналогии с уже изложенной выше методикой, нами по составу вод и величине модуля подземного стока определена интенсивность современного химического выветривания горных пород, которая составила 0,603 г/сек км², или 19,0 т/год км², для Гвинеи и соответственно 0,258 г/сек км², или 8,1 т/год км². Различие полученных цифр для двух районов объясняется, видимо, тем, что в водах Гвинеи натрий и калий определялись по разности сумм катионов и анионов, что в условиях отсутствия нейтральности ведет к завышению результатов. Поэтому вынос элементов на территории Гвинеи следует уменьшить примерно в два раза и принять, таким образом, объем выноса в размере 0,3 г/сек км², что составит 9,5 т/год км². Следовательно, интенсивность выноса элементов в зоне активного водообмена на территории Западной Африки в настоящее время составляет 8—10 т/год км².

Во избежание недоразумений следует подчеркнуть, что речь идет только о самой верхней, наиболее промываемой зоне водораздельных пространств, а не о всем бассейне реки. В последнем случае, как показали детальные исследования Г. Ружери, химический сток увеличивается за счет разрушения более растворимых пород, дренирования образований долин рек, подрусловых отложений, участия глубинного стока и т. д.

Для выяснения направления современных процессов выветривания пород в этой климатической зоне по уже принятой методике нанесем данные по составу вод на уже известную диаграмму (рис. 1).

Полученная при этом картина значительно более низкого расположения не только точек среднего состава воды, но и всего поля подземных вод в области устойчивости каолинита и гиббсита реально отражает характер современного выветривания в направлении преимущественного образования этих соединений. При этом, несмотря на то, что точки среднего состава воды располагаются в области устойчивости каолинита, все же значительная их часть попадает и в область развития гиббсита. Рассмотрим, где же формируются воды, находящиеся в равновесии с этим последним минералом.

Анализ материалов с этих позиций показал, что подземные воды областей питания в условиях наиболее активного водообмена (водораздельные пространства холмистой части Гвинеи) характеризуются минимальными концентрациями кремнезема, что сдвигает термодинамическое равновесие системы вода — порода в сторону образования гиббсита (Шварцев, 1972). По мере движения грунтовых вод к долинам рек содержания кремния в водах несколько возрастают, сдвигая тем самым расположение точек состава воды в область устойчивости каолинита. Эта закономерность хорошо согласуется с природными фактами преимущественного распространения каолинита по склонам холмов и долинам рек, а гиббсита на наиболее промываемых водораздельных участках. Следовательно, в тропических условиях, в отличие от северных районов, содержание кремния в грунтовых водах по мере их движения от областей питания к областям разгрузки не уменьшает-

Таблица 4

Результаты расчета интенсивности химического выветривания пород территории Гвинеи и Берега Слоновой Кости

Объект исследований	Кол-во анализов	pH	Содержание мг/л									Сумма	Модуль подземного стока, л/сек км ²	Интенсивн. выветривания, г/сек км ²	
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe ³⁺	SiO ₂	Al				
Гвинея															
1	Воды основных пород	11	5,6	1,8	0,33	23,1	27,0	23,7	0,0	0,11	3,4	0,22	75,6	—	—
2	Воды нефелиновых сиенитов	8	5,3	0,5	0,47	18,9	19,4	21,1	0,7	0,07	4,0	0,29	66,3	—	—
3	Воды кварцевых песчаников	10	5,4	0,3	0,27	15,0	31,2	4,6	0,14	0,14	4,4	—	60,6	—	—
4	Воды гранито-гнейсов	3	5,5	0,7	0,15	14,6	33,5	4,2	—	0,03	—	—	63,4	—	—
5	Воды Гвинеи (среднее)	32	5,4	0,9	0,3	17,9	31,3	12,7	0,27	0,09	3,7	0,26	64,0	—	—
6	Атмосферные осадки	3	6,1	0,2	0,0	4,1	12,2	9,9	0,0	0,01	0,3	—	26,7	—	—
7	Разность 5 и 6	—	—	0,7	0,3	13,8	19,1	2,8	0,27	0,08	3,4	0,26	40,7	—	—
8	Состав вод после пересчета в окисную форму и исключения анионов	—	5,4	1,0	0,5	23,4	—	—	—	0,11	3,4	0,49	29,0	20,8	0,603
Берег Слоновой Кости															
9	Воды гранито-гнейсов	16	5,5	1,3	0,16	2,2	11,5	—	0,45	0,06	11,8	0,07	27,6	—	—
10	Состав вод после пересчета в окисную форму и исключения анионов и атмосферных осадков	—	5,5	1,6	0,26	3,8	—	—	—	0,08	11,5	0,13	17,3	14,9	0,258

ся, а возрастает. Этот вывод является важным для понимания механизма процессов выветривания в целом и поэтому мы на этом факте акцентируем внимание читателей.

Обсуждение результатов и основные выводы

Приведенный фактический материал позволяет, как нам кажется, разобраться в причинах различного направления процессов выветривания в северных и южных гумидных зонах. Прежде всего, об интенсивности современного выветривания. Как следует из приведенных выше цифр, различие величин этого показателя (5 т/год для северных районов и 10 — для тропических) не так велико, как это принято считать. Конечно, эти цифры нельзя принимать за средние для рассматриваемых климатических зон, однако они, видимо, правильно отражают порядок наблюдаемого явления. Некоторое занижение объема выносимых элементов возможно только из-за того, что часть освобождающихся при выветривании компонентов уже в пределах почвенного горизонта участвует в образовании глин. Интенсивность формирования последних значительно больше в тропических областях, что сказывается на составе формирующихся вод, а следовательно, и на масштабах выноса элементов из профиля выветривания.

Направленность же процессов выветривания, как это следует из приведенной диаграммы (рис. 1), определяется главным образом характером среды: при одних и тех же или близких концентрациях кремния и калия в растворе в более кислых условиях (тропики) образуются каолинит и гиббсит, в более щелочных (северные районы) — гидрослюда и монтмориллонит. Все дело, таким образом, в различных значениях рН. Важно поэтому понять, почему и в каких условиях возникают различия в характере среды.

Известно, что при выветривании происходит освобождение щелочных и щелочноземельных элементов, накопление которых в подземных водах приводит к увеличению их щелочности. Противоположный эффект, эффект подкисления, связан с образованием угольной кислоты при взаимодействии атмосферного и биогенного углекислого газа с водой. Соотношение этих двух разнонаправленных процессов и приводит к определенным значениям величины рН подземных вод. В условиях тропиков, где биологическая продуктивность ландшафтов значительно выше, чем в северных районах (Перельман, 1966), создаются более благоприятные условия для подкисления подземных вод, тогда как в северных районах — для их подщелачивания.

Однако решающим фактором в определении рН вод является все же не объем ежегодной продукции живого вещества, а, во-первых, его соотношение с масштабом выветривания и, во-вторых, направленность преобразования накапливающейся в почвах органики. Если в зоне тайги, так же, как, впрочем, и в тропической зоне влажных лесов, большая часть органического вещества подвергается процессам гумификации, то в зоне тропических саванн — минерализации. Одна из причин такого положения заключается в том, что в зоне северных лесов ((и влажных тропиков) опад листьев приурочен к влажному сезону года, а в саваннах — к сухому. Высокие температуры в последних приводят к быстрому «сгоранию» органических веществ, следствием чего является резкое повышение парциального давления углекислого газа в почвах, а через них и в подземных водах. Это обстоятельство и является причиной формирования кислых вод в саваннах (Шварцев, 1972; Бронева и др., 1970).

Минерализация органических веществ в саваннах приводит к быстрому освобождению кремнезема и других подвижных элементов, ко-

торые в условиях активного водообмена и кислой среды быстро вымываются из профиля выветривания. В почвах накапливаются только малоподвижные алюминий и железо. Гумификация же органических веществ в северных районах приводит к его временному сохранению, а следовательно, и накоплению. Более щелочные условия способствуют образованию гидрослюд и монтмориллонита. Менее активное промывание почв атмосферными осадками способствует обогащению вод биогенными элементами уже на первых стадиях их формирования, что является решающим фактором в определении их дальнейшего поведения. На участках отсутствия или незначительного развития почв могут формироваться каолинит или даже гиббсит.

Таким образом, почвы играют важнейшую роль в обогащении подземных вод химическими элементами на первой стадии их формирования и особенно в создании определенного характера среды. В этом смысле почвы являются своеобразной «потенциалзадающей» системой, которая через воду направляет и регулирует интенсивность и направленность процессов химического выветривания подстилающих горных пород. Иначе говоря, характер геохимической среды определяет направленность процессов выветривания (включая и внепочвенное образование вторичных минералов, формирующихся в результате перестройки кристаллической решетки первичных минералов), а не наоборот, как это принято считать. Безусловно, что эти два процесса взаимосвязаны и взаимообусловлены, т. е. изменение одного из них ведет к изменению другого. Однако развитие первых стадий выветривания определяется средой, характер которой формируется в пределах почвенного горизонта. В этом смысле роль среды является ведущей и ее влияние прослеживается во всем профиле выветривания.

Из вышеизложенного можно сделать несколько важных выводов. Во-первых, различие климатических условий в северной и южной гумидных зонах реализуется в продуктах выветривания не прямым образом, а через посредство биогенных факторов. В этом смысле все продукты выветривания, и прежде всего глины, имеют биогенный генезис. В этой связи нельзя не вспомнить одну из последних работ Б. Б. Полюнова (1953), в которой он доказывал биогенный характер глин. Во-вторых, существующая в настоящее время геохимическая обстановка в пределах тропических саванн способствует развитию латеритного процесса в значительных масштабах. В-третьих, между составом вод и характером выветривания существует тесная связь, что позволяет использовать первые в качестве надежного индикатора направленности современного выветривания.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Бронева, В. А. Иванов, Ю. И. Ким, Г. В. Куликова, Б. М. Михайлов, В. В. Покровский, О. Ф. Сафонова, Ю. П. Селиверстов. Некоторые вопросы формирования и развития латеритных покровов на Либерийском щите (Западная Африка). «Советская геология», 1970, № 9.
2. К. К. Вотинцев. Химический состав вод атмосферных осадков Прибайкалья. ДАН СССР, т. 95, № 5, 1954.
3. Р. М. Гаррелс, Ч. Л. Крайст. Растворы, минералы равновесия. Изд-во «Мир», 1968.
4. В. А. Ковда. Основы учения о почвах. Книга первая и вторая. Изд-во «Наука», 1973.
5. Ф. А. Макаренко, В. П. Зверев. Подземный химический сток на территории СССР. «Литол. и полезн. ископ.», 1970, № 6.
6. Ж. Милло. Геология глин (выветривание, седиментология, геохимия). Изд-во «Недра», 1968.
7. Б. М. Михайлов. Геология и полезные ископаемые Либерийского щита. Изд-во «Недра», 1969.

8. А. И. Перельман. Геохимия ландшафта. Изд-во «Высшая школа», 1966.
 9. Б. Б. Польшов. О геологической роли организмов. Сб. «Вопросы географии», 33, 1953.
 10. Б. Б. Польшов. Избранные труды. М., Изд-во АН СССР, 1956.
 11. С. Л. Шварцев. Гидрогеологические особенности Гвинеи. «Известия вузов. Геология и разведка», 1971, № 8.
 12. С. Л. Шварцев. Химический состав грунтовых вод тропических стран (на примере Гвинеи). «Геохимия», 1972, № 1.
 13. I. E. Brydon and I. A. Mckeague. Differences between lateritic and podzolic weathering: A criticism. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, N 12, 1971.
 14. C. D. Curtis. Differences between lateritic and podzolic weathering. *Geoch. et Cosmoch. Acta*, N 12, 1970.
 15. G. Rougérie. Le façonnement actuel des modelés en Cote d'Ivoire forestiere. Ifan — Dakar, 1960.
 16. Y. Tardy. Géochimie des altérations. Etude des arenés et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Strasbourg, 1969.
-