

Н. А. ЛИСИЦЫНА

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ВЫНОС
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ЛАТЕРИТНОМ
ВЫВЕТРИВАНИИ ОСНОВНЫХ ПОРОД**

(Представлено академиком Н. М. Страховым 24 VI 1970)

Изучение геохимии элювиального процесса является необходимым звеном в познании геохимических особенностей осадконакопления и осадочного рудообразования. В последние годы в литературе появилось немало работ, в которых распределение и вынос породообразующих химических элементов при выветривании рассматриваются с количественной стороны (^{1, 2, 4-7, 9}). В меньшей степени это относится к малым элементам, поведение которых в элювиальном процессе стало объектом количественного изучения сравнительно недавно, а полученные результаты остаются во многом противоречивыми.

Автором впервые был применен метод абсолютных масс (изоволюметрический) для изучения поведения малых элементов при выветривании (^{2, 4}) и др.), что позволило перейти к изучению динамики выноса и особенностей распределения этих элементов на разных этапах развития кор. В настоящей работе приводятся результаты обобщения количественных данных по распределению и выносу главных и некоторых малых элементов и выяснения общих закономерностей их поведения в процессе выветривания основных пород.

Наиболее подходящим объектом геохимического изучения являются, очевидно, глубоко измененные субтропические и тропические коры, главные типы которых выделены нами ранее (^{3, 4}). Эти типы (украинский, вьетнамский, тихоокеанский, индонезийский (австралийский) и гвинейский) различаются по составу и строению элювиальной толщи и, что весьма существенно, имеют определенный характерный для каждого типа профиль выветривания. Условия их формирования зависят от многих факторов (дренаж, состав, структура и текстура исходных пород и др.), однако главным фактором, определяющим интенсивность химического выветривания, является климат (⁸). Не останавливаясь на характеристике каждого типа, поскольку детальное описание их было сделано ранее (^{3, 4}), отметим, что все они образуют единый генетический ряд. Каждый член этого ряда отражает процесс выветривания разной степени интенсивности, которая возрастает от украинского типа к гвинейскому.

В результате геохимического изучения с применением метода абсолютных масс характерных разрезов каждого типа выявлены основные особенности поведения при их формировании главных и некоторых малых элементов (Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cr, V, Zr, Ga). Сравнение полученных результатов привело к установлению некоторых общих закономерностей, которые в краткой форме излагаются ниже.

Относительная подвижность элементов заметно меняется в разных типах элювия в зависимости от трех факторов: 1) минеральной формы нахождения элементов в исходной породе, определяемой в значительной степени их кристаллохимическими свойствами; 2) химических свойств элементов; 3) физико-химических условий среды выветривания. Поэтому ряды подвижности элементов для изученных нами типов элювия

основных пород заметно отличаются друг от друга. Сравнение их позволяет, однако, выделить четыре группы элементов с различной подвижностью, которые и составляют схематизированный ряд подвижности: 1) легкоподвижные элементы (коэффициент устойчивости K сотые доли — 0,3) подразделяются на: а) более легкоподвижные (K не более 0,15) — Na, Ca, Mg, K; б) менее легкоподвижные ($0,15 < K < 0,3$) — Mn, P, Co; 2) подвижные элементы ($0,3 < K < 0,5$) — Si, Ni, Zn, Pb, Cu; 3) малоподвижные элементы ($0,5 < K < 0,7$) — Cr, V; 4) устойчивые элементы ($0,7 < K < 1$) — Al, Fe, Ti, Ga, Zr.

Динамика выноса элементов. Установлено, что во всех типах элювия главная масса породообразующих элементов (Na, K, Ca, Mg, Si, Al, Fe, Ti) выносятся на ранней стадии выветривания при разложении исходной породы и образовании первых глинистых продуктов. Подсчитано, что в разрезах разных типов элювия при этом выщелачивается 35—40 и до 67% от содержания главных элементов в материнской породе. По отношению к общему количеству выносимого материала это составляет: украинский тип — порядка 77%; вьетнамский тип — более 80%; тихоокеанский тип — более 80%; гвинейский тип — более 95%. В процессе дальнейших преобразований в коре выветривания, после прохождения ею ранней стадии, вынос элементов, таким образом, резко сокращается.

Исходя из этих данных, мы называем стадию разложения породы и образования нижней зоны профиля стадией массового выноса. В процессе дальнейшего развития профиля выветривания вынос редуцирован. Это первая закономерность, которая характеризует количественную сторону выноса элементов из кор выветривания.

Изменения состава выносимого комплекса элементов на разных стадиях процесса тропического выветривания также закономерны и единообразны для всех рассмотренных типов элювия. Они состоят в том, что в начале процесса (разложение исходной породы, формирование нижней зоны профиля) в составе выносимого комплекса присутствует полный набор главных элементов: легкоподвижные основания, подвижный кремний и малоподвижные алюминий, железо и, возможно, титан. Вынос последних трех элементов не обнаружен только в гвинейском разрезе.

Позднее, в процессе дальнейших преобразований элювиальной толщи (формирование верхних зон профиля выветривания), наряду с резким сокращением выноса существенно меняется состав выносимого комплекса элементов. Роль оснований и, тем более, устойчивых элементов (Al, Fe, Ti) в редуцированном выносе сокращается до минимума. Главное место теперь принадлежит кремнию, который и составляет 56% (вьетнамский тип) — 87% (гвинейский тип) от общего количества элементов, выносимых на этой стадии.

Таким образом, мы можем сформулировать вторую закономерность динамики выноса главных элементов, отражающую качественный состав выносимого комплекса. Она состоит в том, что по мере развития процесса выветривания набор выносимых элементов обедняется и формирование верхних зон профиля сопровождается главным образом выносом кремния, хотя абсолютные массы, вопреки довольно распространенному мнению, здесь в выносе не возрастают, а убывают. Динамика выноса малых элементов (Mn, P, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cr, V, Zr, Ga) в количественном отношении не отличается заметно от динамики выноса главных. Так, на ранней стадии массового выноса выщелачивается от 40 до 57% исходного содержания малых элементов, в процессе дальнейших преобразований элювиальных пород (формирование средней и верхней зоны профиля) — только 11—19%.

Таким образом, первая закономерность справедлива и для малых элементов. Вторая закономерность для них неприменима. Различия проявляются в том, что изменение состава выносимого комплекса малых элементов на разных стадиях выветривания невелико. Вынос большинства из них происходит наиболее интенсивно при разложении исходной породы,

однако продолжается и позднее, при формировании верхних зон профиля.

Нами установлено, что основная причина — влияние минеральной формы нахождения элементов в исходной породе, и в частности тесная связь большинства малых элементов с устойчивыми аксессуарами, магнетитом и т. д.

Особенности выноса элементов при формировании разных типов элювия. Главные элементы. Сравнение общих количеств главных элементов, выносимых при формировании разных типов элювия, показывает лишь очень небольшое увеличение суммарного их выноса в ряду от вьетнамского типа к гвинейскому: 50—64% (вьетнамский тип) — 67% (гвинейский тип) от содержания элементов в исходной породе. Это увеличение значительно меньше, чем можно было ожидать, имея в виду весьма заметную разницу в степени интенсивности разложения пород разных типов элювия. Гораздо более существенны закономерные изменения состава выносимого комплекса элементов. На ранней стадии массового выноса они наиболее отчетливо выражены, что хорошо видно из следующего сопоставления содержания главных элементов (%):

Главные элементы	Основания	Кремний	Al, Fe, Ti
Украинский тип элювия	50	35—40	15—10
Вьетнамский » »	40	40	20
Тихоокеанский » »	40	50	10
Гвинейский » »	40	60	Не обн.

Эти цифры показывают, что соотношения выносимых элементов довольно определены для каждого типа элювия и могут рассматриваться как геохимические параметры климатических типов.

В древнем элювии украинского типа более всего выносятся оснований, меньше кремния, отмечен вынос малоподвижных элементов (Al, Fe, Ti (?)). В элювии вьетнамского типа основания и кремний выносятся в равных количествах, что говорит об относительном росте выноса кремния. Довольно значителен вынос Al, Fe, Ti(?). В элювии тихоокеанского и гвинейского типов вынос кремния преобладает над основаниями; Al, Fe, Ti почти или совсем не выносятся.

В редуцированном выносе на более поздних стадиях выветривания во всех типах элювия главную роль играет кремний. При этом доля его в общем выносе опять-таки растет от вьетнамского типа к гвинейскому, усиливая возможность относительного накопления устойчивых элементов. Этот вывод подтверждают и данные о выносе элементов по отношению к их содержанию в исходной породе.

В итоге сформулируем следующие закономерности.

1. По мере увеличения степени интенсивности выветривания от украинского типа к гвинейскому заметно растет вынос кремния — как в абсолютном выражении, так и относительно других элементов.

2. Абсолютный вынос оснований также увеличивается вместе с ростом интенсивности выветривания, однако их роль в выносимом комплексе остается постоянной или уменьшается, благодаря более сильному росту выноса кремния.

3. Малоподвижные элементы, главным образом алюминий и железо, выносятся только в постепенно развивающихся корах. С увеличением интенсивности процесса их вынос практически прекращается (имеются в виду окислительные условия среды).

Это создает максимально благоприятные условия для накопления устойчивых элементов, т. е. процесс латеритизации становится наиболее эффективным.

Малые элементы. В разных типах элювия в количественном отношении малые элементы ведут себя подобно главным. Суммарный их вы-

нос меняется мало и составляет 57—60% от содержания в исходной породе. Изменение состава выносимого комплекса при формировании разных типов элювия имеет ту же направленность, что и для главных элементов: с увеличением интенсивности выветривания растет вынос легкоподвижных элементов и замедляется — малоподвижных (Cr, V, Zr, Ga). Однако в отношении малых элементов, в отличие от главных, мы можем говорить лишь о тенденции, поскольку благодаря их связям с устойчивыми акцессориями и магнетитом имеют место частые исключения из правила, лишь раз подтверждающие положение о том, что поведение малых элементов при выветривании связано не столько с историей породы в целом, сколько с историей отдельных минералов.

Геологический институт
Академии наук СССР
Москва

Поступило
17 VI 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ж. П. Лажуани, М. Бонифа, Вопросы геологии и минералогии бокситов, М., 1964. ² Н. А. Лисицына, Литол. и полезн. ископ., № 1 (1966). ³ Н. А. Лисицына, Литол. и полезн. ископ., № 5 (1967). ⁴ Н. А. Лисицына, В кн. Геохимия осадочных пород и руд, «Наука», 1968. ⁵ Э. В. Мельничук, В. Ю. Кондрачук, Тез. докл. на совещ. по геохимии гипергенеза, 1964. ⁶ Б. М. Михайлов, В сборн. Исследование и использование глин, Львов, 1958. ⁷ Б. М. Михайлов, В кн. Генезис бокситов, «Наука», 1966. ⁸ Н. М. Страхов, Типы литогенеза и их эволюция в истории земли, М., 1960. ⁹ G. Millot, M. Bonifas, Bull. du Serv. de la Carte Geol. d'Alsace et de Lorraine, 1955.