

УДК 504.54

**ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МИГРАЦИЯ МАКРОИОНОВ
Si, Fe, Al, Cu, Zn В ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЛАНДШАФТАХ
ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

Д. Ю. Баранов

*Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского, ул. Косыгина 19,
стр.1, 199911, г. Москва, Россия, dmitrybaranovjob@gmail.com*

Исследована геохимическая миграция элементов в почвенных водах, формирующихся в пределах элементарных ландшафтах Валдайской возвышенности. Рассмотрены изменения поведения элементов при изменении pH и увеличении глубины формирования почвенных вод. Обобщены данные наблюдений с 2015 по 2019 гг. на основе проведения натурного эксперимента.

Ключевые слова: геохимическая миграция; элементарные ландшафты; почвенные воды; Валдайская возвышенность.

**GEOCHEMICAL MIGRATION OF MACRO-IONS, SI, FE, AL, CU,
ZN IN LANDSCAPES FACIES OF THE VALDAY UPLANDS**

D. Yu. Baranov

*Vernadsky Institute, st. Kosygina 19 build. 1,
199911, Moscow, Russia, dmitrybaranovjob@gmail.com*

The geochemical migration of elements in soil waters formed within the elementary landscapes of the Valdai Upland has been studied. Changes in the behavior of elements with changes in pH and an increase in the depth of soil water formation are considered. Observational data from 2015 to 2019 are summarized based on a full-scale experiment.

Keywords: geochemical migration; elementary landscapes; soil waters; Valdai Upland.

Элементарные ландшафты характеризуются резкой дифференциацией вещества и физико-химических условий в вертикальном разрезе. Почвы являются компонентом ландшафта, который развивается при взаимодействии между другими его компонентами, а также отражает материальный состав и состояние процесса. Наиболее динамичной средой в почвах являются почвенные растворы. С почвенным раствором происходит миграция элементов, перераспределение веществ по профилю почвы и их вынос в сопредельные среды [1]. Полынов (1953) отмечал, что системообразующую роль в сопряженных почвах и элементарных

ландшафтах играет миграция химических элементов [2]. В настоящее время, важным вопросом является определение прямых и обратных связей во внутреннем строении элементарного ландшафта. Поэтому исследование было направлено на оценку изменения химического состава почвенных вод в трансэлювиальном и элювиальном видах элементарных ландшафтов с учетом вертикальных изменений состава почвенного профиля.

На исследуемом участке Валдайской возвышенности можно выделить все основные типы элементарного ландшафта по условиям миграции элементов: элювиальный, трансэлювиальный, супераквальный и субаквальный [3]. Наиболее интересным для исследования является оценка различий между элювиальным и трансэлювиальным типами элементарных ландшафтов, главные аспекты которых заключаются в особенностях рельефа и почвенных горизонтов.

Целью исследования являлось изучение химического состава почвенных вод, формирующихся в различных звеньях элементарных ландшафтов и оценка путей вертикальной миграции макроионов и Si, Fe, Mn, Al, Cu, Zn.

В работе отражены результаты исследований, которые проводились в период с 2015 по 2019 гг. на экспериментальном участке Валдайской возвышенности, расположенным в 20 км на СЗ от г. Валдай рядом с оз. Гусиное. было заложено 6 лизиметрических установок, учитывающих влияние почвенных слоев и рельефа на миграцию элементов в зоне аэрации. В элювиальном и трансэлювиальном видах элементарного ландшафта почва оказывает преобладающее влияние на изменение состава лизиметрических вод. Лизиметры были заложены в почвенный субстрат с ненарушенным строением на глубине 20 и 30 см на локальном поднятии (холме) с относительно ровным рельефом и на пологом склоне холма. Почвенный фильтрат отбирали систематически в весенне-осенний сезон в среднем один раз в 1,5 месяца. Растительность представлена сосняком черничным свежим с редким подлеском [4]. В течение 48 ч. после отбора проб почвенных растворов определяли pH, электропроводность, мутность, цветность, щелочность, содержание основных анионов. Элементный состав определяли методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в Институте геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского (ГЕОХИ РАН).

Элювиальный тип элементарного ландшафта. Содержание основных катионов и анионов (Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO₃, SO₄) в почвенных водах генетического горизонта А растет изменении значений pH от слабокислого к нейтральному. Отмечается повышение концентраций K и Na почти в 3 раза, SO₄ — в 7 раз. Среди переходных металлов сходная тенденция возможна для Zn, Cu за счет повышенной гидролизуемости

(принцип Ле-Шателье). При этом увеличение содержания Cu при повышении pH незначительно, а концентрация Zn возрастает в 3 раза. Концентрации Fe, Al достаточно стабильны по глубине, что может быть связано с разнообразием видов химической миграции, а содержание Si значительно возрастает. Согласно данным, миграционная способность большинства микроэлементов увеличивается при снижении pH до кислых и слабокислых, однако, в проведенных исследованиях, аналогичное поведение характерно только для Mn, что обусловлено сложными миграционными типами передвижения элементов, включая биологическое потребление [5].

Для всех рассматриваемых щелочных/щелочноземельных катионов диапазон варьирования концентраций крайне мал (кроме ионов Na). В почвенных водах горизонта В содержание HCO_3 , Cl, NO_3 незначительно увеличивается при возрастании pH, а концентрация SO_4 увеличивается более чем в 2 раза. Диапазон изменения основных катионов не такой контрастный, как в почвенных водах горизонта А. Рост концентраций Si, Zn при повышении pH связан с комплексной и анионной формами миграции элементов. Резкий рост содержания цинка обусловлен его высокими высокими концентрациями в почвенных водах горизонта А данного района [6].

Трансэлювиальный тип элементарного ландшафта. В почвенных водах на глубине горизонта А отмечено увеличение содержания макроионов (от 1.5 до 2 раз) при росте значений pH. Однако их средние содержания ниже, чем в почвенных водах элювиального ландшафта, что, вероятно, связано с наклоном рельефа. Поведение Si, Cu, Zn, Mn схоже при смене кислотно-основных условий среды остается аналогичным поведению в элювиальном типе элементарного ландшафта.

В почвенных водах горизонта контрастное изменение содержаний элементов характерно для гидрокарбонатов, сульфатов и натрия, наблюдается превышение в 3, 8 и 10 раз соответственно, можно предположить, что на это, главным образом, влияет различие минералогического состава генетических горизонтов.

Среди микроэлементов увеличение концентраций при повышении pH характерно для кремния, меди, цинка, т.к. эти компоненты образуют в слабокислых средах высокомолекулярные неорганические соединения с участием гидроксидионов. Стоит отметить, что поведение марганца меняется на противоположное: концентрация увеличивается при повышении pH, а изменение содержаний Al, Fe незначительно.

Для ряда других элементов наблюдается либо повышение содержания при повышении pH (свинец, кадмий, марганец), либо совсем незначительное изменение концентраций (Al, Fe, Co), связанные с гидролизуемостью катионов.

Направленность изменения химического состава почвенных вод. При инфильтрации почвенных вод через генетические горизонты в пределах элювиального ландшафта происходит их подщелачивание, значение pH возрастают на 0,6-2,9 раз (Рисунок). Электропроводность и содержание органического вещества снижается в среднем; окислительно-восстановительный потенциал имеет тенденцию к снижению, однако амплитуда изменений варьирует от -200 до 500 мВ. В течение всего периода исследований почвенные воды обогащаются Na (около 2 мг/л), гидрокарбонат-ионами и сульфатами 3,9 и 2,4 мг/л соответственно. Содержание ионов кальция, магния и нитратов увеличивается незначительно, однако имеет устойчивую тенденцию к росту с повышением глубины почвенных вод. Снижение концентрации K с глубиной, указывает на снижение его биопотребления. Тенденция к стабильному повышению содержания с ростом глубины отмечается для Si, Zn. Рост концентрации Si можно связать с возрастанием содержания кварца. Содержание алюминия, марганца и железа снижается, чему способствует окислительно-восстановительная обстановка подзолистых почв, характерная для образования железо-марганцевых конкреций.

При формировании почвенных вод в пределах трансэлювиального ландшафта наблюдается устойчивый рост pH с увеличением глубины, также отмечается снижение электропроводности и окислительно-восстановительного потенциала среды. По сравнению с группами элементов, выделенными в элювиальном ландшафте, преобладающие изменение (знак) миграции концентраций выявлено для Si. Поведение макрокатионов в трансэлювиальном типе имеет противоположный тренд относительно элювиального типа: концентрации Ca, Mg, Na, SO₄ снижаются, а содержание K, HCO₃ увеличивается.

В почвенных горизонтах A в пределах формирования исследуемых типов элементарных ландшафтов рост значений pH активизирует выщелачивание K, Na, Zn, Si, SO₄. Наклон рельефа является ключевым фактором, влияющим на миграцию Ca, Mg, Na. Формирование химического состава почвенных вод элювиального ландшафта имеет разнонаправленные тренды и связано с изменением кислотно-основных свойств. Миграционная способность железа не зависит от изменения pH среды и глубины формирования почвенных вод. Среди микроэлементов Al, Fe, Cu и Mn имеют устойчивый тренд к снижению их концентраций в почвенном растворе при увеличении глубины, для Zn характерно усиление выщелачивания.

Библиографические ссылки

1. *Раудина Т. В.* Почвенный раствор: от классических представлений к современным понятиям // Отражение био-, гео-, антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове сборник материалов V Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. 2015. С. 87–93.
2. *Перельман А. И., Касимов Н. С.* Геохимия ландшафта. М.: Астрей. 1999. 762 с.
3. *Глазовская М. А.* Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Смоленск: Ойкумена. 2002. 288 с.
4. Фрагментация и разнообразие лесов Национального парка «Валдайский» / Е. А. Белоновская [и др.] // Лесоведение. 2022. №4. С. 658-673.
5. *Kabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, 2010. 548 p.
6. *Баранов Д. Ю.* Миграция элементов в почвенных водах Валдайской возвышенности // Геохимия. 2022. № 5 (67). С. 482–493.