

Научная статья

УДК 911.52

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.1>

ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ГОРНЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Татьяна Васильевна Дегтярева^{1*},
Андрей Александрович Лиховид²

^{1,2} Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация)

¹ dtb.70@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-8205-4268>

² info@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2190-301X>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

Объектом исследования является микроэлементный состав горных аллювиальных почв, формирование которого протекает достаточно интенсивно в силу активности процессов, обуславливающих развитие почвенного покрова в условиях горного рельефа. Исследование построено на анализе особенностей образования системы почвенных соединений микроэлементов в аллювиальных почвах речных долин Западного Кавказа на примере долины реки Большой Зеленчук. В ходе работы обнаружено, что для аллювиальных почв свойственно постоянное поступление микроэлементов в составе взвесей и растворенных веществ в речных водах, которые при паводковых разливах затопляют пойменную часть речных долин. Помимо этого, поступление микроэлементов происходит механическим путем со склонов гор, непосредственно примыкающих к речной долине. Определенную роль играют процессы аэриального переноса пылеватых частиц с воздушными потоками, в том числе и трансграничного характера. Подъем грунтовых вод также вызывает перемещение растворенных форм микроэлементов в горных аллювиальных почвах как в радиальном, так и в латеральном направлениях. По итогам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что для горных аллювиальных почв характерной является сильная связь с почвообразующими породами, которые являются важнейшим источником микроэле-

ментов. Особенности развития системы почвенных соединений микроэлементов в горных аллювиальных почвах обусловлены специфическими условиями протекания в них почвообразующих процессов. Их изучение необходимо в силу важного средообразующего и средоформирующего значения горных аллювиальных почв в современных ландшафтах речных долин, которые являются наиболее освоенными территориями горных стран.

Ключевые слова: горные аллювиальные почвы, Западный Кавказ, река Большой Зеленчук, микроэлементы

Для цитирования: Дегтярева Т.В., Лиховид А.А. Особенности микроэлементного состава горных аллювиальных почв Западного Кавказа // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 9–26. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.1>

Конфликт интересов: один из авторов статьи — доктор географических наук, профессор Лиховид Андрей Александрович является членом международного редакционного совета журнала «Наука. Инновации. Технологии». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанном с этой рукописью.

Статья поступила в редакцию 03.03.2024;
одобрена после рецензирования 23.05.2024;
принята к публикации 14.06.2024.

1.6.12.

**Physical Geography and Biogeography, Soil Geography
and Landscape Geochemistry (Geographical Sciences)**
Research article

Features of microelement composition of mountain alluvial soils of the Western Caucasus

**Tatyana V. Degtyareva^{1*},
Andrey A. Likhovid²**

^{1,2} North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation)

¹ dtb.70@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-8205-4268>

² info@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2190-301X>

* Corresponding author

Abstract.

The object of the study is the microelement composition of mountain alluvial soils, the formation of which occurs quite intensively due to the activity of processes that determine the development of soil cover in mountainous relief conditions. The study is based on the analysis of features forming the system of soil compounds of microelements in alluvial soils of river valleys of the Western Caucasus using the example of the Bolshoy Zelenchuk River valley. The study specified that alluvial soils are characterized by a constant supply of microelements in the composition of suspensions and dissolved substances in river waters, which during flood spills flood the flood-plain part of river valleys. In addition, microelements are supplied mechanically from the mountain slopes directly adjacent to the river valley. A certain role is played by the processes of aerial transfer of dust particles with air flows, including those of a transboundary nature. Rising groundwater also causes the movement of dissolved forms of trace elements in mountain alluvial soils in both radial and lateral directions. Based on the results of the study, we can conclude that mountain alluvial soils are characterized by a strong connection with soil-forming rocks, which are the most important source of microelements. Features of the development of the system of soil compounds of microelements in mountain alluvial soils are determined by the specific conditions for the occurrence of soil-forming processes in them. Their study is necessary due to the important environment-forming significance of mountain alluvial soils in modern landscapes of river valleys, which are the most developed areas of mountainous countries.

Keywords:

mountain alluvial soils, Western Caucasus, Bolshoi Zelenchuk River, microelements

For citation:

Degtyareva TV, Likhovid AA. Features of microelement composition of mountain alluvial soils of the Western Caucasus. Science. Innovations. Technologies. 2024;(2):9-26. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.1>

Conflict of interest:

one of the authors of article — Andrey A. Likhovid, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, is a member of International Editorial Board of journal “Science. Innovations. Technologies”. The authors are not aware of any other potential conflict of interest relating to this manuscript.

The article was submitted 03.03.2024;
approved after reviewing 23.05.2024;
accepted for publication 14.06.2024.

Введение

Горные аллювиальные почвы относятся к достаточно малоизученным образованиям по сравнению с другими почвами, формирующимися в пределах высотных ярусов гор. Для них характерны разные особенности проявления классификационных диагностических признаков в зависимости от места расположения в различных частях речных долин. Все это обуславливает высокую степень актуальности настоящего исследования микроэлементного состава горных аллювиальных почв Западного Кавказа, которые являются преобладающими в почвенном покрове территорий речных долин, наиболее освоенных и преобразованных в антропогенном плане в горах. Именно к территории речных долин приурочены основные плодородные почвы в горах, позволяющие осуществлять сельскохозяйственную деятельность разной направленности: выращивание овощной продукции, выпас скота, сенокошение и т.д. [1]. Также к территории речных долин чаще всего приурочены населенные пункты, оказывающие разноплановое воздействие на почвенный покров: характерно строительство зданий и сооружений, обустройство дорог, местное производство определенных материалов и т.д. [2, 3]. Все это вызывает антропогенную трансформацию горных почв и требует внимательного изучения особенностей формирования их микроэлементного состава и его изменения в результате достаточно интенсивного антропогенного воздействия [4].

Цель работы – на основании материалов собственных полевых исследований, а также анализа литературных источников определить особенности формирования микроэлементного состава горных аллювиальных почв долины реки Большой Зеленчук. Установление главных закономерностей развития системы почвенных соединений микроэлементов в горных аллювиальных почвах служит научной основой для осуществления комплекса мероприятий восстановительного характера в случае их значительного антропогенного преобразования.

Материалы и методы исследований

Материалами исследования послужили данные полевого почвенного опробования горных собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв в долине реки Большой Зе-

ленчук в районе поселка Архыз, проведенные летом 2019 г. Кроме этого, опробование проводилось в районе станицы Зеленчукской и одного из истоков реки Большой Зеленчук – реки Псыш. В отобранных почвенных образцах определялось содержание четырех микроэлементов – Cu, Zn, Pb и Cd. Также исследовались: pH водной вытяжки потенциометрическим методом, содержание гумуса методом мокрого озоления по И. В. Тюрину, гранулометрический состав методом лазерной дифракции. Валовые формы микроэлементов определялись на рентген-флуоресцентном спектрометре «Хенemetrix EX-Calibur»; подвижные (обменные) формы – с помощью экстракции ацетатно-аммонийным буферным раствором (pH 4,8) при соотношении почва: раствор 1:5 и последующим определением содержания микроэлементов атомно-абсорбционным методом.

Микроэлементный состав почв характеризовался с помощью последовательности уменьшения кларков концентрации (*KK*) и кларков рассеивания (*KP*) относительно мировых кларков почв по А.П. Виноградову [5]. Кларки концентрации рассчитывались как отношение содержания микроэлементов в почке обследования к кларку почв по А.П. Виноградову, кларки рассеивания – как обратное отношение кларка почв к содержанию микроэлемента в точке обследования. Для характеристики радиальной дифференциации микроэлементного состава почв проводилось определение коэффициента радиальной дифференциации (*R*) как отношения содержания химического элемента в генетическом горизонте почв к его содержанию в горизонте BG нижней части почвенного профиля.

Результаты исследований и их обсуждение

Долина реки Большой Зеленчук отличается горным характером своего построения в пределах Западного Кавказа. Реке присущ смешанный тип питания: 55 % годового стока приходится на дождевое питание, 30 % – на талые воды ледников и снега, 15 % – на подземный сток; 85 % всего годового стока осуществляется в теплый период года при таянии ледников и снежников [6]. В верхнем течении река дренирует толщи отложений горных пород преимущественно магматического и метаморфического состава: гранитоидов, кристаллических гнейсов и сланцев, диабазов. Их перемещение, переот-

ложение, переработка речными водами приводит к накоплению вдоль русла реки аллювиальных отложений. Эти отложения отличаются обкатанностью, включением как переработанного материала, так и новых продуктов размыва горных пород, поступающих в результате разрушения береговой линии. Помимо грубых валунно-галечниковых и песчаных элементов горных пород, аллювиальные отложения содержат в большом количестве тонкодисперсные фракции. Накопление ила обусловлено его отложением из речных вод при паводковых разливах, поступлением с делювиальными водами со склонов, окружающих русло реки. Установлено, что при высоких уровнях паводка мутность воды в реке Большой Зеленчук резко возрастает и количество взвешенных частиц доходит до 3 000–4 000 мг/л [6].

Почвы, формирующиеся на аллювиальных отложениях, отличаются слоистостью, связанной с разнородным характером отложений в весенне-летний и осенний периоды. Весной и летом в составе паводковых и делювиальных вод поступает большое количество наилка – илистых частиц, содержащих органические, минеральные и органоминеральные вещества [7, 8]. Осенью состав наносов несколько другой – больше содержится песчаной фракции, связанной с переработкой при транспортировке рекой обломков горных пород. Слоистость вызывает дифференциацию почвенных горизонтов по гранулометрическому составу, которая особенно проявлена для верхней половины почвенного профиля. Помимо этого, аллювиальным почвам свойственна дифференциация по характеру сложения, так как песчанистые слои отличаются более рыхлым сложением по сравнению с илистыми.

Строение почвенного профиля собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв характеризуется наличием слабоуплотненной дернины A_d и гумусового горизонта A_1 преимущественно темно-серого с буроватым оттенком цвета, разного гранулометрического состава, мелкокомковатой структуры, $pH - 5,8 \pm 0,1$ (табл. 1). Содержание гумуса составляет $4,8 \pm 0,4$ % и, согласно исследованиям [9], в нем характерно преобладание гидролизированных подвижных соединений и фульвокислот. Ниже располагается горизонт B_1 , который обычно более уплотнен по сложению, содержит меньшее количество органического вещества (содержание гумуса –

2,5±0,3 %), отличается слабокислой реакцией среды (рН – 6,1±0,1). Переходный горизонт ВG к почвообразующим аллювиальным отложениям часто оглеен и содержит большое количество обкатанных обломков горных пород, пятна ожелезнения, марганцево-железистые конкреции. Количество гумуса в нем резко снижается до 0,6±0,5%; рН составляет 6,9±0,1. В целом, для собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв свойственно преобладание таких почвообразовательных процессов, приводящих к дифференциации микроэлементного состава почв в пределах почвенного профиля: гумусонакопление, оглинивание, оглеение с восстановительной обстановкой миграции, ожелезнение вследствие разрушения железосодержащих минералов [10, 11]. Г.В. Добровольский и др. [9] отмечают, что в профиле аллювиальных дерновых кислых почв Fe³⁺ превалирует над Fe²⁺, наблюдается биогенная и механическая аккумуляция микроэлементов семейства железа.

Таблица 1.

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОБСТВЕННО АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ДЕРНОВЫХ КИСЛЫХ ГАЛЕЧНИКОВЫХ ПОЧВ ДОЛИНЫ РЕКИ БОЛЬШОЙ ЗЕЛЕНЧУК

Table 1. Physical and chemical properties of the actual alluvial soddy acid pebble soils of the Bolshoi Zelenchuk River valley

Место заложения почвенного разреза	Координаты / высота, м над у.м.	Горизонт/ глубина, см	Физическая глина, %	рНводн	Гумус, %
Долина р. Псыш	43.523224, 41.231421 / 1559	A1/ 10	23,4 ± 2,3	5,6 ± 0,1	4,9 ± 0,3
		B1/ 27	31,5 ± 2,9	5,9 ± 0,2	2,2 ± 0,1
		BG/ 34	33,4 ± 3,1	6,7 ± 0,1	0,5 ± 0,3
Территория поселка Архыз	43.560868, 41.280553 / 1449	A1/ 7	19,2 ± 2,1	5,8 ± 0,2	5,2 ± 0,3
		B1/ 31	16,4 ± 1,5	6,1 ± 0,1	2,8 ± 0,2
		BG/ 44	22,7 ± 1,9	6,8 ± 0,1	1,1 ± 0,1
Территория станицы Зеленчукская	43.856549, 41.575725/ 932	A1/ 13	39,7 ± 3,5	5,9 ± 0,2	4,4 ± 0,4
		B1/ 42	34,1 ± 3,2	6,4 ± 0,1	2,6 ± 0,2
		BG/ 64	17,3 ± 1,5	7,1 ± 0,2	0,4 ± 0,3

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Важным процессом формирования микроэлементного состава горных аллювиальных почв является оглинивание. Его протекание обусловлено существованием достаточно значительных объемов органических остатков, периодически погребаемых поступающем при паводковых разливах наилком. Биогеохимическое разложение органических остатков в погребенном состоянии вызывает микробиологическую активность различных групп микроорганизмов, приводящих к процессам оглинивания [12]. Происходящие в ходе биогеохимических процессов трансформационные изменения первичных минералов в погребенных горизонтах приводят к образованию вторичных алюмосиликатных минералов, которые обладают значительной адсорбционной способностью по отношению к микроэлементам [13]. В горных почвах, в связи с их меньшей мощностью [14, 15], оглинивание сосредоточено в средней (на глубине 20-30 см) части почвенного профиля.

Оглеение, свойственное аллювиальным почвам при их переувлажнении, также включает в себя биогеохимические восстановительные процессы с участием анаэробных железовосстанавливающих микроорганизмов [16]. Образование восстановленных оксидов и гидроксидов Fe сопровождается процессами окисления органических остатков с выделением разнообразных продуктов кислотной природы, влияющих на минеральную часть почв в сторону ее разрушения и увеличения подвижных форм химических элементов [11].

Рассмотрим микроэлементный состав горных аллювиальных почв ключевых участков в верхней части долины р. Большой Зеленчук. Почвенные разрезы заложены в центральной части поймы под злаковыми лугами и характеризуют собственно аллювиальные дерновые кислые галечниковые почвы. Их формирование связано с периодически происходящими процессами затопления паводковыми водами во время половодий. При этом устанавливаются восстановительные условия миграции химических элементов [18], которые способствуют высокой миграционной подвижности Fe в виде оксидов и гидроксидов [19, 20]. Их распределение по почвенному профилю происходит достаточно интенсивно и приводит к дифференциации связанных с ними микроэлементов [10, 17].

Среднее содержание валовых форм микроэлементов в гумусовом горизонте собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв долины реки Большой Зеленчук характеризуется следующими показателями: $\text{Cu} - 54,7 \pm 4,3$ мг/кг; $\text{Zn} - 98,7 \pm 8,7$ мг/кг; $\text{Pb} - 36,6 \pm 4,2$ мг/кг; $\text{Cd} - 1,7 \pm 0,2$ мг/кг (табл. 2). Данные значения близки установленным средним содержаниям этих химических элементов в почвах на магматических и метаморфических породах Северного Кавказа [14]. Сравнение содержания микроэлементов в горных аллювиальных почвах долины реки Большой Зеленчук с мировыми почвенными кларками по А.П. Виноградову [5] показывает, что в данных почвах происходит концентрирование всех рассматриваемых химических элементов. Рb сильнее всего накапливается в горных аллювиальных почвах, опробованных на территории поселка Архыз и станицы Зеленчукская ($KK = 3,8 - 3,9$); Cd и Cu – в почвах на территории станицы Зеленчукская ($KK = 3,8$ и $2,8$ соответственно). В горных аллювиальных почвах, располагающихся выше по течению в долине р. Псыш, более высокие концентрации имеет Zn ($KK = 2,1$) (табл. 3).

Помимо валовых форм микроэлементов в собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почвах установлены пределы содержания подвижных (обменных) форм химических элементов: $\text{Cu} - 1,4 \pm 0,4$ мг/кг; $\text{Zn} - 4,3 \pm 0,6$ мг/кг; $\text{Pb} - 1,9 \pm 0,5$ мг/кг; $\text{Cd} - 0,09 \pm 0,01$ мг/кг. Распределение подвижных форм микроэлементов определяется двумя процессами, свойственными профилю горных аллювиальных почв. Периодическое увлажнение приводит к подъему грунтовых вод и способствует восходящему току растворенных форм химических элементов. В тоже время, затопление движущимися паводковыми водами во время половодья обуславливает определенное вымывание водорастворимых форм из верхних почвенных горизонтов с их обеднением относительно нижней части почвенного профиля [19]. В изученных горных собственно аллювиальных дерновых кислых почвах долины реки Большой Зеленчук подвижные формы Cu имеют элювиальное распределение, а Zn, Pb и Cd – разные варианты распределения с преобладанием элювиально-иллювиального типа.

Таблица 2. СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СОБСТВЕННО
АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ДЕРНОВЫХ КИСЛЫХ ГАЛЕЧНИКОВЫХ ПОЧВАХ
ДОЛИНЫ РЕКИ БОЛЬШОЙ ЗЕЛЕНЧУК
Table 2. The content of microelements in the actual alluvial soddy acid
pebble soils of the Bolshoi Zelenchuk River valley

Место заложения почвенного разреза	Горизонт/ глубина, см	Содержание микроэлементов ± погрешность, мг/кг (в числителе – валовые формы, в знаменателе – обменные)			
		Cu	Zn	Pb	Cd
Долина р. Псыш	A1/ 10	$\frac{54.5 \pm 5.2}{0.38 \pm 0.1}$	$\frac{106.4 \pm 9.6}{4.7 \pm 0.2}$	$\frac{37.8 \pm 3.2}{1.7 \pm 0.2}$	$\frac{1.5 \pm 0.09}{0.07 \pm 0.01}$
	B1/ 27	$\frac{48.4 \pm 3.9}{1.6 \pm 0.1}$	$\frac{87.5 \pm 8.7}{2.7 \pm 0.2}$	$\frac{39.1 \pm 3.0}{3.4 \pm 0.2}$	$\frac{0.91 \pm 0.05}{0.06 \pm 0.01}$
	BG/ 34	$\frac{45.2 \pm 4.2}{2.5 \pm 0.1}$	$\frac{73.1 \pm 7.0}{1.8 \pm 0.2}$	$\frac{44.1 \pm 4.4}{2.7 \pm 0.2}$	$\frac{1.3 \pm 0.04}{0.24 \pm 0.01}$
Территория поселка Архыз	A1/ 7	$\frac{53.2 \pm 4.9}{0.74 \pm 0.1}$	$\frac{92.5 \pm 8.0}{3.6 \pm 0.1}$	$\frac{39.4 \pm 3.7}{1.2 \pm 0.1}$	$\frac{1.7 \pm 0.05}{0.18 \pm 0.01}$
	B1/ 31	$\frac{47.6 \pm 4.7}{0.98 \pm 0.03}$	$\frac{87.8 \pm 6.2}{3.7 \pm 0.1}$	$\frac{36.9 \pm 3.6}{2.3 \pm 0.1}$	$\frac{1.4 \pm 0.1}{0.23 \pm 0.01}$
	BG/ 44	$\frac{43.1 \pm 3.6}{1.2 \pm 0.2}$	$\frac{66.4 \pm 6.1}{1.5 \pm 0.1}$	$\frac{44.3 \pm 4.2}{2.1 \pm 0.1}$	$\frac{1.1 \pm 0.2}{0.09 \pm 0.01}$
Территория станции Зеленчукская	A1/ 13	$\frac{56.8 \pm 5.5}{1.6 \pm 0.2}$	$\frac{97.2 \pm 8.7}{4.8 \pm 0.1}$	$\frac{32.6 \pm 3.1}{2.9 \pm 0.1}$	$\frac{1.9 \pm 0.01}{0.09 \pm 0.01}$
	B1/ 42	$\frac{54.2 \pm 4.4}{2.5 \pm 0.1}$	$\frac{76.4 \pm 6.9}{5.6 \pm 0.1}$	$\frac{43.4 \pm 3.7}{2.1 \pm 0.1}$	$\frac{1.4 \pm 0.03}{0.15 \pm 0.01}$
	BG/ 64	$\frac{48.3 \pm 4.2}{2.7 \pm 0.1}$	$\frac{90.6 \pm 8.7}{2.3 \pm 0.1}$	$\frac{47.8 \pm 5.3}{1.7 \pm 0.1}$	$\frac{1.1 \pm 0.3}{0.11 \pm 0.01}$

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Таблица 3.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СОБСТВЕННО
АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ДЕРНОВЫХ КИСЛЫХ ГАЛЕЧНИКОВЫХ ПОЧВ
ДОЛИНЫ РЕКИ БОЛЬШОЙ ЗЕЛЕНЧУК

Table 3. Features of microelement composition of the actual alluvial soddy
acid pebble soils of the Bolshoi Zelenchuk River valley

Место заложения почвенного разреза	КК	КР	Тип распределения по почвенному профилю, значение R (валовые формы)		
	относительно кларка почв [5]		Поверхностно-аккумулятивный	Элювиально-иллювиальный	Элювиальный
Долина р. Птыш	Pb _{3,7} Cd _{3,0} Cu _{2,7} Zn _{2,1}	—	Zn (1,4), Cu (1,2)	Cd (1,1)	Pb (0,8)
Территория поселка Архыз	Pb _{3,9} Cd _{3,4} Cu _{2,6} Zn _{1,8}	—	Zn (1,4), Cd (1,5), Cu (1,2)	—	Pb (0,9)
Территория станции Зеленчукская	Cd _{3,8} Pb _{3,2} Cu _{2,8} Zn _{1,9}	—	Cu (1,2)	Cd (1,1), Zn (1,07)	Pb (0,7)

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Определение коэффициентов радиальной дифференциации в гумусовом горизонте относительно горизонта BG в нижней части почвенного профиля позволяет говорить о слабоконтрастной радиальной миграции валовых форм большинства рассматриваемых химических элементов. Для Cu во всех изученных почвенных разрезах свойственен поверхностно-аккумулятивный тип радиальной дифференциации со значением $R = 1,2$. У Zn радиальное распределение несколько более контрастно (R достигает значений 1,4) и также преобладает поверхностно-аккумулятивный тип радиальной дифференциации. Pb отличается элювиальным типом радиального перераспределения ($R = 0,7–0,9$) с уменьшением концентраций в верхней части почвенного профиля и их возрастанием к почвообразующей породе, что может быть следствием влияния литогенного фактора [21]. Cd имеет иллювиально-элювиальный и поверхностно-аккумулятивный типы радиального распределения по почвенному профилю.

Соотношение между валовыми и подвижными формами микроэлементов меняется в зависимости от части почвенного разреза. Для Cu характерным является увеличение количества подвижных форм от гумусового горизонта (0,7–2,8 %) до нижней части почвенного профиля (до 5,6 %). Подвижных форм Zn больше в верхней части почвенного разреза (3,9–4,9 %) по сравнению с горизонтом BG (2,2–2,5 %), что может свидетельствовать о значительном связывании химического элемента с органоминеральными водорастворимыми комплексами. Распределение подвижных форм Pb по почвенному профилю обследованных разрезов очень неравномерно: установлены максимальные значения в средней части профиля (8,7–6,2 % в разрезах по долине р. Псыш и в окрестностях поселка Архыз) и в горизонте A₁ (до 8,9 % в почвенном разрезе окрестностей станицы Зеленчукская).

Заключение

В результате исследования особенностей формирования микроэлементного состава горных собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв долины реки Большой Зеленчук установлено, что многие почвообразовательные процессы имеют свою специфику, связанную с горными условиями. Высокое содержание химических элементов в горных аллювиальных почвах относительно мирового кларка почв во многом связано с поступлением с паводковыми водами продуктов денудации магматических и метаморфических горных пород. Большое значение имеет существование периодически проявляющихся процессов затопления поймы быстротекущими речными водами, в результате чего создаются восстановительные условия миграции химических элементов. Складываются характерные для глеевых обстановок высокие уровни содержания оксидов и гидроксидов Fe, накапливаются вторичные глинистые минералы, органоминеральные комплексы. Создается дифференциация почвенного профиля горных аллювиальных почв по гранулометрическому составу в результате чередования разных слоев наилка и аллювия. В целом, сложные сочетания окислительных и восстановительных условий миграции, процессов перераспределения ведущих фаз-носителей микроэлементов по поч-

венному профилю (оксидов и гидроксидов Fe, илистых частиц, органоминеральных комплексов) приводит к разнообразной картине дифференциации самих микроэлементов. Преобладающим типом распределения в почвенном профиле горных собственно аллювиальных дерновых кислых галечниковых почв для Cu и Zn является поверхностно-аккумулятивный, для Pb – элювиальный, для Cd – иллювиально-элювиальный.

Список источников

1. Вайнгартнер Р., Гуня А. Н. Значение гор и необходимость активного участия в горных программах // Устойчивое развитие горных территорий. 2016. Т. 8. № 2. С. 120–126. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2016-8-2-120-126>
2. Bednarova Z., Komprdova K., Kalabova T., Sanka M. Impact of Floods and Their Frequency on Content and Distribution of Risk Elements in Alluvial Soils // Water Air Soil Pollut. 2015. Vol. 226. No. 15. P. 1–21. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2253-x>
3. Иванкова Т. В., Кипкеева П. А., Потапенко Ю. Я. Природно-хозяйственные структуры малых речных бассейнов горного рельефа и пути их развития: инновации, оптимизация или реставрация // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2018. Т. 26. № 1 (89). С. 67–75.
4. Schulz-Zunkel C., Rinklebe J., Bork H.-R. Trace element release patterns from three floodplain soils under simulated oxidized–reduced cycles // Ecol. Eng. 2015. Vol. 83. P. 485–495. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.028>
5. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
6. Шальнев В. А., Юрин Д. В. Архыз. Природные условия и современные ландшафты. Ставрополь: СКФУ, 2016. 112 с.
7. Shrestha J., Niklaus P. A., Pasquale N., Huber B., Barnard R. L., Frossard E., Schleppi P., Tockner K., Luster J. Flood pulses control soil nitrogen cycling in a dynamic river floodplain // Geoderma. 2014. Vol. 228. P. 14–24. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.09.018>
8. Фашевский Б. В. Экологическое значение поймы в речных

- экосистемах // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2007. № 5. С. 118–129.
9. Добровольский Г. В., Балабко П. Н., Стасюк Н. В., Быкова Е. П. Аллювиальные почвы речных пойм и дельт и их зональные отличия // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. № 3 (48). С. 5–13.
 10. Васильев А. А., Романова А. В. Железо и тяжелые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. 231 с.
 11. Аристовская Т. В. Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 126 с.
 12. Ubugunova V. I., Ubugunov L. L., Ubugunov V. L. Soils of mountain floodplains of the upper Kerulen basin (Mongolia) // Eurasian Soil Science. 2022. Vol. 55. No. 2. P. 169–181. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22020125>
 13. Путилина В. С., Галицкая И. В., Юганова Т. И. Адсорбция тяжелых металлов почвами и горными породами. Характеристики сорбента, условия, параметры и механизмы адсорбции: аналитический обзор. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2009. 155 с.
 14. Дьяченко В. В. Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа. Ростов-на-Дону: Комплекс, 2004. 268 с.
 15. Сорокина О. А., Зарубина Н. В. Содержание химических элементов в аллювиальных почвах и донных отложениях реки Уркан (бассейн реки Амур) // Почвоведение. 2013. № 6. С. 681–690. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13060105>
 16. Водяницкий Ю. Н., Шелоболлина Е. С. Биологическая редукция (гидр)оксидов железа (III) и роль природного органического вещества в этом процессе // Агрохимия. 2007. № 8. С. 87–96.
 17. Водяницкий Ю. Н. Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах // Почвоведение. 2014. № 4. С. 420–432. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14040108>
 18. Frohne T., Rinklebe J., Diaz-Bone R. A., Du Laing G. Controlled variation of redox conditions in a floodplain soil: Impact on metal mobilization and biomethylation of arsenic and antimony // Geoderma. 2011. Vol. 160. No. 3–4. P. 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.10.012>
 19. Мартынов А. В. Оценка влияния крупного паводка на

- содержание микроэлементов в аллювиальных почвах в среднем течении р. Амур // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 91. С. 110–131. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-91-110-131>
20. Borch T., Kretzschmar R., Kappler A., Van Cappellen P., Ginder-Vogel M., Voegelin A., Campbell K. Biogeochemical redox processes and their impact on contaminant dynamics // Environ. Sci. Technol. 2010. Vol. 44. No. 1. P. 15–23. <https://doi.org/10.1021/es9026248>
21. Дегтярева Т. В., Лиховид А. А., Лиховид Н. Г. Геохимическая дифференциация литогенной основы ландшафтов Большого Кавказа // Наука. Инновации. Технологии. 2018. № 3. С. 125–141. <https://doi.org/10.37495/23084758-2018-3-125-140>

References

1. Weingartner R, Gunya AN. The importance of mountains and the need for active participation in mountain programs. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2016;8(2):120-126. (In Russ.). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2016-8-2-120-126>
2. Bednarova Z, Komprdova K, Kalabova T, Sanka M. Impact of Floods and Their Frequency on Content and Distribution of Risk Elements in Alluvial Soils. *Water Air Soil Pollut.* 2015;226(15):1-21. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2253-x>
3. Ivankova TV, Kipkeeva PA, Potapenko YuYa. Natural and economic structures of small river basins of mountainous terrain and ways of their development: innovations, optimization or restoration. *Herald of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*. 2018;26(1)(89):67-75. (In Russ.).
4. Schulz-Zunkel C, Rinklebe J, Bork H-R. Trace element release patterns from three floodplain soils under simulated oxidized–reduced cycles. *Ecol. Eng.* 2015;83:485-495. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.028>
5. Vinogradov AP. Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils. M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1957. 238 p. (In Russ.).
6. Shalnev VA, Yurin DV. Arkhyz. Natural conditions and modern landscapes. Stavropol: NCFU; 2016. 112 p. (In Russ.).

7. Shrestha J, Niklaus PA, Pasquale N, Huber B, Barnard RL, Frossard E, Schleppi P, Tockner K, Luster J. Flood pulses control soil nitrogen cycling in a dynamic river floodplain. *Geoderma*. 2014;228:14-24. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.09.018>
8. Fashchevsky BV. Ecological significance of the floodplain in river ecosystems. *Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*. 2007;(5):118-129.
9. Dobrovolsky GV, Balabko PN, Stasyuk NV, Bykova EP. Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences. *Aridnye ekosistemy* = Arid ecosystems. 2011;17(3) (48):5-13. (In Russ.).
10. Vasiliev AA, Romanova AV. Iron and heavy metals in alluvial soils of the Middle Urals. Perm: IPC "Prokrost"; 2014. 231 p. (In Russ.).
11. Aristovskaya TV. Microbiology of soil formation processes. L.: Nauka; 1980. 126 p. (In Russ.).
12. Ubugunova VI, Ubugunov LL, Ubugunov VL. Soils of mountain floodplains of the upper Kerulen basin (Mongolia). *Eurasian Soil Science*. 2022;55(2):169-181. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22020125>
13. Putilina VS, Galitskaya IV, Yuganova TI. Adsorption of heavy metals by soils and rocks. Sorbent characteristics, conditions, parameters and mechanisms of adsorption: analytical review. Novosibirsk: State Public Scientific and Technical Library SB RAS; 2009. 155 p. (In Russ.).
14. Dyachenko VV. Geochemistry, systematics and assessment of the state of landscapes of the North Caucasus. Rostov-on-Don: Complex; 2004. 268 p. (In Russ.).
15. Sorokina OA, Zarubina NV. Content of chemical elements in alluvial soils and bottom sediments of the Urkan River (Amur River basin). *Eurasian Soil Science*. 2013;(6):681-690. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0032180X13060105>
16. Vodyanitsky YuN, Shebololina ES. Biological reduction of iron (III) (hydr)oxides and the role of natural organic matter in this process. *Agrohimiya* = Agrochemistry. 2007;(8):87-96. (In Russ.).
17. Vodyanitsky YuN. Natural and technogenic compounds of heavy metals in soils. *Eurasian Soil Science*. 2014;(4):420-432. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0032180X14040108>
18. Frohne T, Rinklebe J, Diaz-Bone RA, Du Laing G. Controlled variation of redox conditions in a floodplain soil: Impact on

- metal mobilization and biomethylation of arsenic and antimony. *Geoderma*. 2011;160(3-4):414-424. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.10.012>
19. Martynov AV. The assessment of the large flood impact on the microelements content in alluvial soils in the Amur river middle stream. *Byul. Pochv. in-ta im. V.V. Dokuchaeva = Dokuchaev Soil Bulletin*. 2018;(91):110-131. (In Russ.). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-91-110-131>
20. Borch T, Kretzschmar R, Kappler A, Van Cappellen P, Ginder-Vogel M, Voegelin A, Campbell K. Biogeochemical redox processes and their impact on contaminant dynamics. *Environ. Sci. Technol.* 2010;44(1):15-23. <https://doi.org/10.1021/es9026248>
21. Degtyareva TV, Likhovid AA, Likhovid NG. Geochemical differentiation of the lithogenic basis of the landscapes of the Greater Caucasus. *Science. Innovations. Technologies*. 2018;(3):125-141. (In Russ.). <https://doi.org/10.37495/23084758-2018-3-125-140>

Информация об авторах

Татьяна Васильевна Дегтярева – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры физической географии и кадастров Северо-Кавказского федерального университета, Scopus ID: 57196119839, Researcher ID: KLE-1800-2024

Андрей Александрович Лиховид – доктор географических наук, профессор, декан медико-биологического факультета, первый проректор Северо-Кавказского федерального университета, Scopus ID: 57200209407

Вклад авторов

Татьяна Васильевна Дегтярева. Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных.

Подготовка и редактирование текста – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне.

Андрей Александрович Лиховид. Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Information about the authors

Tatyana V. Degtyareva – Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Chair of Department of Physical Geography and Cadastre, North-Caucasus Federal University, Scopus ID: 57196119839, Researcher ID: KLE-1800-2024

Andrey A. Likhovid – Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Dean of the Faculty of Medicine and Biology, First Pro-Rector, North-Caucasus Federal University, Scopus ID: 57200209407

Contribution of the authors

Tatyana V. Degtyareva. Conducting research – data collection, analysis and interpretation.

Text preparation and editing – drafting of the manuscript and its final version, contribution to the scientific layout.

Andrey A. Likhovid. Approval of the final manuscript – acceptance of responsibility for all types of the work, integrity of all parts of the paper and its final version.