



Научная статья

УДК 336.76

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2025.2.2>

ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ

Татьяна Васильевна Дегтярева

Северо-Кавказский федеральный университет (д. 1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация)
dtb.70@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-8205-4268>

Аннотация.

Объектом исследования стали гидроморфные почвы Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей, выделенного в Ставропольском крае. Изучена радиальная геохимическая структура дифференциации валовых содержаний Zn, Cu, Pb и Cd в профиле лугово-черноземных почв, формируемых под воздействием постоянного грунтового и сезонного поверхностного увлажнения. Также исследованы особенности латеральной геохимической дифференциации микроэлементов в лугово-черноземных почвах по отношению к общей латеральной структуре миграции химических элементов, характерной для ландшафтно-геохимической мезокатены, заложенной в пределах Ташлянского ландшафта. Основными методами стали: полевой, камерально-аналитический, анализ научной информации по исследованию аналогичных ландшафтно-геохимических процессов. Установлены морфологические характеристики и ряд физико-химических свойств лугово-черноземных почв, которые свидетельствуют о формировании в профиле почв дифференциации по щелочно-кислотным условиям (идет смена нейтральной реакции среды в гумусовом горизонте на слабощелочную в нижней части почвенного профиля) и окислительно-восстановительным обстановкам (происходит смена окислительной среды на восстановительную глеевую среду). Радиальная структура дифференциации валовых содержаний Zn и Cu соответствует поверхностно-аккумулятивному распределению, что, вместе с установленными статистически значимыми коэффициентами корреляции с содержанием гумуса, свидетельствует о закреплении Zn и Cu на биогеохимическом барьере в составе органоминеральных соединений. Для радиальной структуры дифференциации Pb и Cd свойственно элювиально-иллювиальное распределение. Установленные коэффициенты корреляции

косвенно подтверждают закрепление Pb и Cd в составе алюмосиликатных глинистых минералов. Важными фазами-носителями микроэлементов в гидроморфных почвах являются оксиды (гидроксиды) Fe и Mn, карбонаты, легкорастворимые соли, которые визуальнo определены в их профиле. В общей картине латеральной дифференциации микроэлементов по ландшафтно-геохимической мезокатене лугово-черноземные почвы выступают как малоcontrastные концентраторы Zn и Cu. Более интенсивная радиальная миграция Pb и Cd из гумусовых горизонтов в гидроморфных условиях сказывается на особенностях их латерального распределения по ландшафтно-геохимической мезокатене.

Ключевые слова: химические элементы, лугово-черноземные почвы, процессы, переувлажнение, Ставропольский край

Для цитирования: Дегтярева Т.В. Формирование микроэлементного состава почв Ставропольского края под воздействием процессов переувлажнения // Наука. Инновации. Технологии. 2025. № 2. С. 41–60. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2025.2.2>

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 21.01.2025;
одобрена после рецензирования 01.04.2025;
принята к публикации 20.06.2025.

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

Formation of microelement composition of soils of Stavropol krai under the influence of waterlogging processes

Tatyana V. Degtyareva

North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation)
dtb.70@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0005-8205-4268>

Abstract.

The object of the study was the hydromorphic soils of the Tashlyan-sky landscape of ravine forest-steppes, identified in the Stavropol Krai. The radial geochemical structure of differentiation of gross contents of Zn, Cu, Pb and Cd in the profile of meadow-chernozem soils formed under the influence of constant ground and seasonal surface moistening was studied. The features of lateral geochemi-

cal differentiation of microelements in meadow-chernozem soils in relation to the general lateral structure of migration of chemical elements, characteristic of the laid landscape-geochemical mesocatena within the Tashlyansky landscape, were also studied. The main methods were field and office analyses, analysis of scientific information on similar landscape-geochemical processes. The morphological characteristics and a number of physicochemical properties of meadow-chernozem soils have been established, which indicate the formation of differentiation in the soil profile by alkaline-acid conditions (there is a change from the neutral reaction of the environment in the humus horizon to a slightly alkaline one in the lower part of the soil profile) and oxidation-reduction conditions (there is a change from the oxidizing environment to a reducing gley environment). The radial differentiation structure of the total contents of Zn and Cu corresponds to the surface-accumulative distribution, which, together with the established statistically significant correlation coefficients with the humus content, indicates the fixation of Zn and Cu on the biogeochemical barrier as part of organomineral compounds. The radial differentiation structure of Pb and Cd is characterized by eluvial-illuvial distribution. The established correlation coefficients indirectly confirm the fixation of Pb and Cd as part of aluminosilicate clay minerals. Important phases-carriers of microelements in hydromorphic soils are oxides (hydroxides) of Fe and Mn, carbonates, easily soluble salts, which are visually determined in their profile. In the general picture of lateral differentiation of microelements along the landscape-geochemical mesocatena, meadow-chernozem soils act as low-contrast concentrators of Zn and Cu. More intensive radial migration of Pb and Cd from humus horizons in hydromorphic conditions affects the features of their lateral distribution along the landscape-geochemical mesocatena.

Keywords: chemical elements, meadow-chernozem soils, processes, waterlogging, Stavropol Krai

For citation: Degtyareva TV. Formation of microelement composition of soils of Stavropol Krai under the influence of waterlogging processes. *Science. Innovations. Technologies.* 2025;(2):41-60. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2025.2.2>

Conflict of interest: the author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 21.01.2025;
approved after reviewing 01.04.2025;
accepted for publication 20.06.2025.

Введение

Микроэлементный состав почв представляет собой сложную систему почвенных соединений, включающих в себя разнообразные формы нахождения микроэлементов [1]. В той или иной степени в почвах представлены соединения микроэлементов с органическим веществом, с оксидами (гидроксидами) Fe и Mn, с алюмосиликатами в виде первичных или вторичных минералов, с карбонатами, легкорастворимыми солями [2, 3]. Во многом формирование микроэлементного состава почв определяется распределением данных фаз-носителей микроэлементов в почвенном профиле.

В связи с важностью проведения исследований по изучению микроэлементного состава почв для анализа способности почв восстанавливаться после техногенных воздействий, необходимым является учет гидроморфных местоположений. В условиях близкого залегания грунтовых вод либо интенсивного поверхностного поступления атмосферных осадков в почвах протекают процессы переувлажнения и заболачивания [4]. Очень часто это совпадает с более низким гипсометрическим уровнем поверхности почв, нахождением в нижней части склонов, пойменной части речных долин, западинах. За счет процессов переувлажнения в почвах гидроморфных местоположений создаются особые окислительно-восстановительные обстановки, влияющие на образование системы почвенных соединений микроэлементов. Их изучение позволяет получить полную картину формирования микроэлементного состава почв для территории Ставропольского края, где характерным является наличие гидроморфных почв в подчиненных ландшафтно-геохимических условиях миграции.

Цель исследования – определить особенности формирования микроэлементного состава почв в условиях переувлажнения, характерных для поймы реки Ташла на территории Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей в Ставропольском крае с использованием материалов собственных полевых исследований и анализа научной литературы по данной тематике.

Материалы и методы исследований

Исследование проводилось в Ташлянском ландшафте байрачных лесостепей, выделенном В. А. Шальневым [5] в верховьях рек Ташла и Большая Кугульта. Закладывались полные почвенные разрезы по ландшафтно-геохимической мезеокатене, включившей в себя автономные (А), трансэлювиальные (ТЭ) и трансэлювиально-аккумулятивные (ТЭА) элементарные ландшафты (рис. 1). Автономный ландшафт водораздельной поверхности останцового плато и трансэлювиальный ландшафт склонов останцового плато сложены элювиально-делювиальными отложениями и делювиальными лессовидными суглинками. Здесь под луговой разнотравно-дерновиннозлаковой степью сформированы черноземы типичные. Трансэлювиально-аккумулятивный ландшафт выположенно-го склона к пойме реки Ташлы сложен делювиально-аллювиальными отложениями; под мезофильными лугами развиты лугово-черноземные почвы.

Почвенно-геохимическое опробование состояло из отбора почвенных проб по генетическим горизонтам почв, их первичной пробоподготовки и проведения лабораторных анализов. Определялись щелочно-кислотные условия (рН водной вытяжки) методом потенциометрии; содержание органического вещества (гумуса) методом мокрого озоления по И. В. Тюрину; гранулометрический состав методом лазерной дифрактометрии. Валовые содержания Cu, Zn, Pb и Cd определены методом рентгенфлуоресцентного анализа на спектрометре «Xenometrix EX-Calibur».

При определении особенностей радиального распределения микроэлементов использован коэффициент радиальной дифференциации (R), равный отношению содержания химического элемента в генетическом горизонте почв к его содержанию в почвообразующей породе или горизонте ВС. При анализе радиальной дифференциации содержание микроэлементов, монотонно уменьшающееся с глубиной, принято за поверхностно-аккумулятивное распределение; при наличии максимумов и минимумов содержания металлов в средней части почв распределение отнесено к элювиально-иллювиальному.

Помимо лабораторных анализов, проведен литературный анализ имеющейся научной информации по микроэлементному составу почв в гидроморфных условиях [6–9]. В этих работах установле-

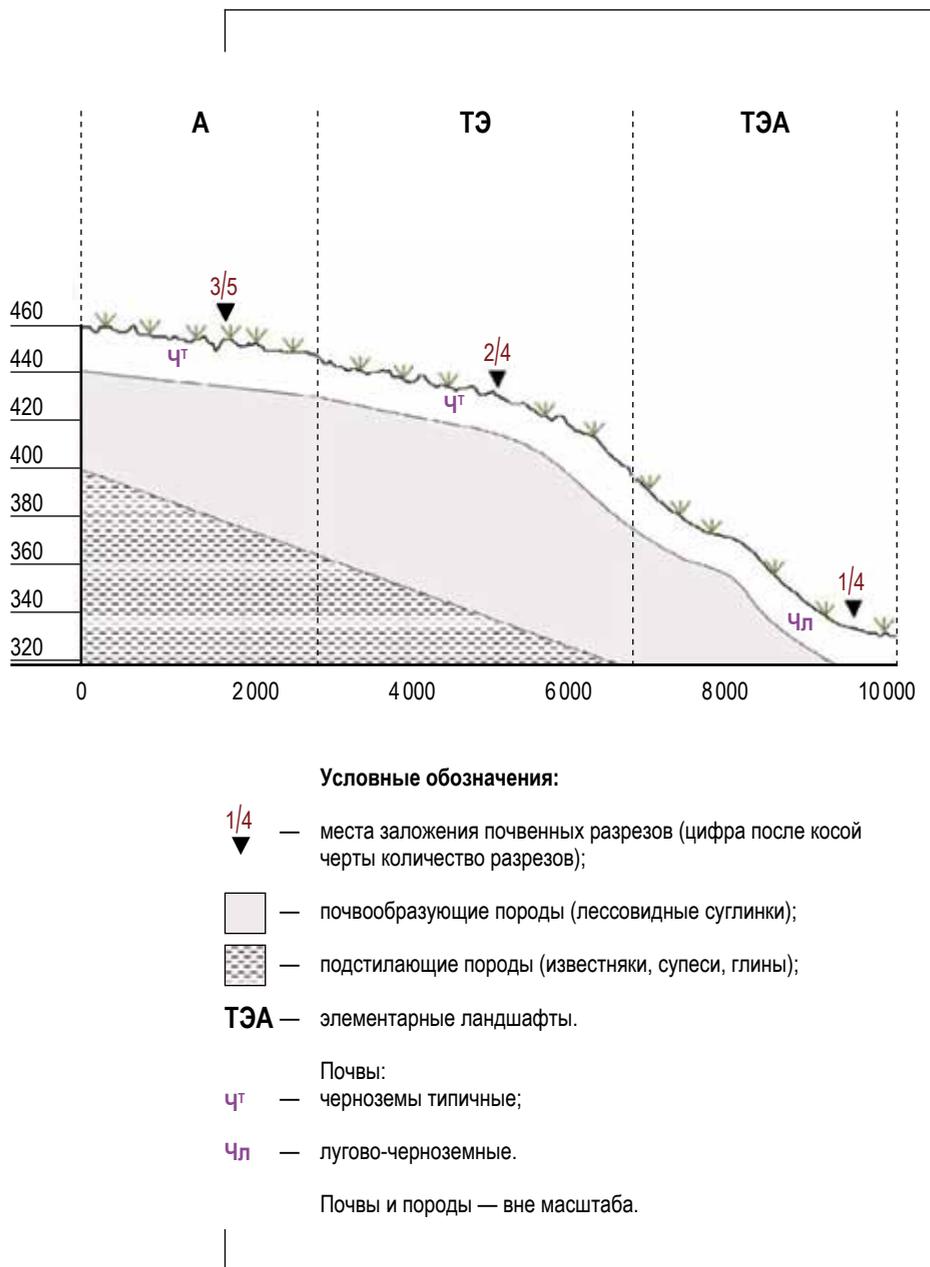


Рис. 1.

Схематический профиль ландшафтно-геохимической мезокатены в Ташлянском ландшафте байрачных лесостепей.

Fig.1. Schematic profile of landscape-geochemical mesocatena in Tashlyansky landscape of ravine forest-steppes.

Источник: составлено автором.

Source: compiled by the author.

ны основные почвообразовательные процессы, влияющие на формирование микроэлементного состава лугово-черноземных почв: гумусообразование и гумусонакопление, биогенная аккумуляция, миграция карбонатов с их аккумуляцией в нижней части профиля и, в меньшей мере, – выщелачивание, лессиваж, оглинивание и гидрогенная миграция [7, 8].

Радиальная дифференциация микроэлементов в профиле рассматриваемых почв согласно литературным данным неоднозначна. Н. С. Горбунова и Н. А. Протасова отмечают, что «валовый Zn, валовая и подвижная Cu концентрируется преимущественно в верхних горизонтах за счет биогенной аккумуляции; также в карбонатном горизонте наблюдается некоторое увеличение концентрации валового Zn и подвижной Cu, где они способны аккумулироваться в результате взаимодействия с карбонатами почвенного раствора» [8]. Б. П. Ахтырцев с соавторами для лугово-черноземных почв приводят данные по поверхностно-аккумулятивному распределению подвижной Cu, равномерному и элювиально-иллювиальному распределению подвижного Zn [10].

Результаты исследований и их обсуждение

Район исследования относится к Ставропольской возвышенности (Центральное Предкавказье), для которой характерен пересеченный рельеф в силу особенностей размыва подстилающих пород в четвертичный период. Более устойчивые пласты плотных карбонатных пород в настоящее время образуют платообразные останцовые поверхности выравнивания верхнесарматского и акчагыльского времени формирования. Речные долины и балки занимают участки с выходами глин разного происхождения. Гидроморфные (лугово-черноземные) почвы приурочены к нижним частям выположенных склонов, к днищам водоносных балок с выходами грунтовых вод, к надпойменным террасам рек. На их формирование влияет как грунтовое увлажнение, так и поверхностное поступление избыточного количества осадков в результате их интенсивного выпадения.

Климатические условия района исследования являются умеренно континентальными, с годовым количеством осадков 558–636 мм, суммой активных температур более 10° – 3306 °С, ГТК – 1,09, КУ – 0,8 [11]. Высокое количество осадков совпадает с их не-

устойчивым характером поступления в течение года. Формируется периодически промывной тип водного режима, в условиях которого в почвах сочетаются биогенно-аккумулятивные и элювиально-иллювиальные процессы [6].

Растительность представлена разнотравно-дерновиннозлаковой степью, в условиях переувлажнения произрастает луговая ассоциация, включающая келерию стройную *Koeleria cristata*, осоку низкую *Carex humilis*, овсяницу валлисскую *Festuca valesiaca*, тимфеевку степную *Phleum phleoides*, костер береговой *Bromopsis riparia* [12]. Местами формируются заросли из тростника южного *Phragmites australis*, рогоза широколистного *Typha latifolia* и другой влаголюбивой флоры, свидетельствующие о близком к поверхности расположении грунтовых вод в течение всего года.

Почвообразующими породами для гидроморфных почв Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей являются делювиально-аллювиальные глинистые и тяжелосуглинистые отложения сармата [11]. Согласно классификации почвообразующих комплексов пород Северного Кавказа В. В. Дьяченко [13], эти отложения относятся к терригенным почвообразующим комплексам неогена. Их геохимическая специфика в сравнении с кларками химических элементов в верхней части континентальной земной коры [14] характеризуется концентрацией Pb, рассеиванием Zn и Cu (табл. 1).

Рассматривая свойства гидроморфных лугово-черноземных почв Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей, следует отметить большую мощность гумусового горизонта А (39–42 см), черный цвет почвенных агрегатов, хорошо выраженную структуру, присутствие глубинной глееватости, признаков вторичного окarbonачивания с появлением псевдомицелия в гумусовом горизонте. Морфологическое описание почвенного профиля лугово-черноземных почв Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей представлено ниже описанием разреза, заложенного в нижней выположенной части склона к пойме реки Ташла под зарослями тростника южного *Phragmites australis*, рогоза широколистного *Typha latifolia*: Ад 0–6 (6) см. Черновато-темносерый, влажный, тяжелосуглинистый. Комковато-зернистый, слабо уплотненный, вертикальные трещины. Густо пронизан корнями. Переход к нижележащему горизонту постепенный.

Таблица 1. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ ПОРОД НЕОГЕНА, РАЗВИТЫХ НА ТЕРРИТОРИИ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ ПРЕДКАВКАЗЬЯ
Table 1. Geochemical specificity of soil-forming complexes of Neogene rocks developed in the territory of forest-steppe landscapes of the Ciscaucasia

Почвообразующие комплексы	Сравнение с кларком в верхней части континентальной земной коры [14]	
	Кларк концентрации	Кларк рассеивания
Терригенные неогена	Pb1,6	Zn1,3 Cu1,1

Источник: составлено автором.
Source: compiled by the author.

- А 6–39 (33) см. Черновато-темносерый со слабым гляncем, влажный, тяжелосуглинистый. Комковато-зернистый, уплотненный, вертикальные трещины. Ржавые мелкие конкреции, железистые пленки по граням структурных отдельностей, многочисленные скопления псевдомицелия с 19 см. Переход слабозаметный постепенный. Вскипание от 10% HCl с 15 см.
- AB1 39–64 (25) см. Темный буро-серый, влажный, тяжелосуглинистый. Комковато-призматический, уплотненный. Переход слабозаметный постепенный.
- AB2 64–95 (31) см. Темнее предыдущего, черноватый, мокрый, тяжелосуглинистый, бесструктурный, уплотненный. Скопления солей, псевдомицелия, железистых мелких конкреций. Переход постепенный.
- BC 95–119 (24) см. Буро-сизый, мокрый, тяжелосуглинистый, бесструктурный, уплотненный. Белоглазка с 115 см. Переход постепенный.
- BC 119 (дно разреза) см. Оливково-бурая почвообразующая порода.
Почва: Лугово-черноземная мощная тяжелосуглинистая.

Физико-химические свойства лугово-черноземных почв трансэлювиально-аккумулятивного ландшафта ландшафтно-геохимической мезокатены в Ташлянском ландшафте байрачных лесостепей характеризуются нейтральной реакцией среды в гумусовом горизонте ($\text{pH} = 7,2 \pm 0,14$), которая с глубиной становится слабощелочной с $\text{pH} = 7,9 \pm 0,1$ (табл. 2). Установлено повышенное (относительно автоморфных почв) содержание гумуса ($3,5 \pm 0,5\%$), постепенно снижающееся с глубиной. Определен тяжелосуглинистый гранулометрический состав с количеством фракции физической глины $47,9 \pm 7,1\%$. Обращает на себя внимание наличие на глубине 60–70 см от поверхности скопления кристалликов легкорастворимых солей, мелких железистых конкреций. Это свидетельствует о глубине сезонного промачивания почвенного профиля и глубине проникновения окислительных условий миграции химических элементов. С глубины 95 см сформирован глеевый горизонт буро-сизого цвета, т. е. условия миграции химических элементов становятся восстановительными. Почвам свойственен и периодически поверхностный застой влаги, который проявляется в признаках поверхностного сезонного оглеения в слое 0–6 см: мелких железистых конкрециях, железистых пленках по граням структурных отдельностей, ожелезнении растительных остатков.

Микроэлементный состав лугово-черноземных почв Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей показан на рисунке 2. Содержание микроэлементов характеризуется превышением кларка почв мира [15] для Zn (кларк концентрации равен 1,5), Cu (кларк концентрации – 2,4), Pb (кларк концентрации – 2,9) и Cd (кларк концентрации – 1,4).

Радиальная дифференциация микроэлементов в лугово-черноземных почвах различна (табл. 3). Zn распределяется по почвенному профилю по поверхностно-аккумулятивному характеру ($R = 1,5$), что свидетельствует о связи микроэлемента с органоминеральными комплексами. Известно, что Zn в гидроморфных почвах образует прочные Zn-органические соединения [16]. Также весьма многочисленными являются сульфиды Zn в засоленных почвах [2]. Валовое содержание Zn в почвах Предкавказья является высоким и объясняется его поступлением с первичными минералами [3]. Многие факторы (наличие карбонатов, легкорастворимых солей, биогенное ак-

Таблица 2. СРЕДНИЕ И МЕДИАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ, КОЭФФИЦИЕНТЫ ВАРИАЦИИ (CV) ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ТАШЛЯНСКОГО ЛАНДШАФТА
Table 2. Average and median values, coefficients of variation (cv) of physical and chemical properties of meadow-chernozem soils of the Tashlyan landscape

Горизонт	рН водной вытяжки			Содержание гумуса, %			Физическая глина, %		
	среднее	медиа-на	cv	среднее	медиа-на	cv	среднее	медиа-на	cv
A	7,2±0,1	7,25	0,25	3,5±0,5	3,7	0,142	47,9±7,1	47,5	0,148
AB2	7,5±0,1	7,5	0,017	2,7±0,3	2,75	0,117	51,8±6,5	54	0,126
BC	7,9±0,1	7,85	0,07	1,5±0,2	1,45	0,144	54±4,7	54,8	0,088

Источник: составлено автором.

Source: compiled by the author.

кумуляции в составе прочных органоинеральных комплексов) способствуют связыванию Zn в малоподвижные соединения в почвах и его слабой радиальной миграции. В гидроморфных почвах также образуются многочисленные соединения Zn с оксидами (гидроксидами) Fe и Mn, которые также связывают микроэлемент в неподвижные формы. В целом, это приводит к дефициту подвижных форм Zn в почвах Центрального Предкавказья [17].

Корреляционный анализ с использованием всей совокупности данных по ландшафтно-геохимической мезокатене Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей показал статистически значимые ($p < 0,05$) связи между валовым содержанием Zn и содержанием органического углерода ($r = 0,59$; $n = 39$), которые подтверждают возможное нахождение соединений Zn на биогеохимическом барьере. Также установлены корреляции валового содержания Zn с величиной рН ($r = -0,57$; $n = 39$) и фракцией физической глины ($r = 0,19$; $n = 39$). Латеральная дифференциация валового содержания Zn в гидроморфных почвах ландшафтно-геохимической мезокатены ха-

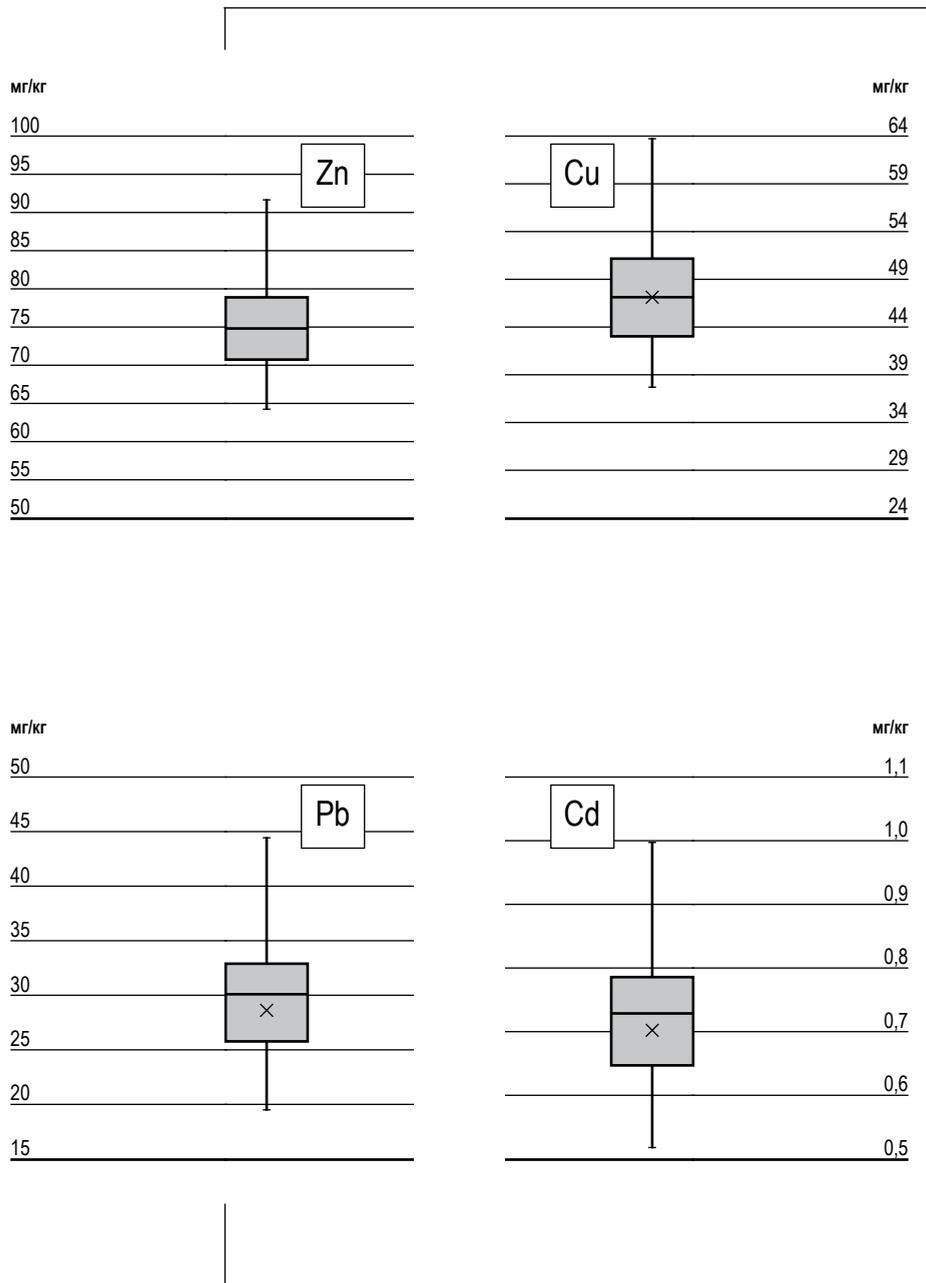


Рис. 2.

Средние значения валовых содержаний микроэлементов в лугово-черноземных почвах Ташлянского ландшафта.

Fig. 2. Microelement composition of meadow-chernozem soils of the Tashlyansky landscape of ravine forest-steppes.

Источник: составлено автором.

Source: compiled by the author.

Таблица 3. МЕДИАННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ВАРИАЦИИ (CV) ВАЛОВЫХ СОДЕРЖАНИЙ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВАХ ТАШЛЯНСКОГО ЛАНДШАФТА
Table 3. Median values and coefficients of variation (cv) of gross contents of microelements in meadow-chernozem soils of the Tashlyansky landscape

Горизонт	Zn		Cu		Pb		Cd	
	медiana, мг/кг	cv	медiana, мг/кг	cv	медiana, мг/кг	cv	медiana, мг/кг	cv
A	74,95	0,113	47,15	0,17	30,3	0,231	0,73	0,195
AB2	57,15	0,121	40,2	0,185	31,8	0,138	0,73	0,072
BC	48,85	0,142	37,2	0,147	42,8	0,22	0,845	0,292

Источник: составлено автором.
Source: compiled by the author.

рактируется малой контрастностью: значение коэффициента латеральной дифференциации L составляет 1,2. Это свидетельствует о значительной сорбционной емкости почв вышерасположенных автономных и трансэлювиальных ландшафтов.

Радиальная дифференциация валового содержания Cu также происходит в соответствии с поверхностно-аккумулятивным распределением ($R = 1,3$). Cu является биофильным микроэлементом, активно участвующим во многих биогеохимических процессах в живых организмах [18]. В связи с этим, возможно предположить закрепление Cu в составе органоминеральных комплексах на биогеохимическом барьере в гумусовом горизонте лугово-черноземных почв. Известно также, что Cu в почвах связывается с глинистыми минералами, оксидами (гидроксидами) Fe и Mn, карбонатами [3, 19]. Корреляционный анализ с использованием данных по всей ландшафтно-геохимической мезокатене Ташлянского ландшафта вы-

явил статистически значимые ($p < 0,05$) коэффициенты корреляции валового содержания Cu с гумусом ($r = 0,56$; $n = 39$), с величиной pH ($r = -0,4$; $n = 39$) и фракцией физической глины ($r = -0,37$; $n = 39$). Латеральная дифференциация валового содержания Cu в гидроморфных лугово-черноземных почвах относительно автоморфных почв характеризуется незначительным увеличением ($L = 1,1$).

Для валового содержания Pb в профиле лугово-черноземных почв определено элювиально-иллювиальное распределение с увеличением содержания микроэлемента в горизонте BC ($R = 0,7$). Аналогичный характер распределения Pb установлен и другими авторами для гидроморфных почв [9]. Возможно предположить выщелачивание Pb под действием гидрогенных процессов из верхней части почвенного профиля и его закрепление на слабом щелочном и восстановительном глеевом внутрпочвенных геохимических барьерах. Фазами-носителями Pb в почвах являются карбонаты, оксиды (гидроксиды) Fe и Mn , алюмосиликатные минералы, в меньшей степени – органическое вещество [20, 21]. В гидроморфных условиях Pb образует соединения с легкорастворимыми солями.

Установлены очень слабые корреляции между валовым содержанием Pb и фракцией физической глины ($r = 0,13$; $n = 39$). Латеральная дифференциация валового содержания Pb в лугово-черноземных почвах ландшафтно-геохимической мезокатены относительно черноземов типичных малоконтрастна: $L = 0,9$. Вероятно, это связано с более интенсивным радиальным перемещением микроэлемента вглубь почвенного профиля в условиях переувлажнения, характерного для лугово-черноземных почв.

Валовое содержание Cd в профиле лугово-черноземных почв также имеет элювиально-иллювиальное распределение с незначительным накоплением в средней части почвенного профиля ($R = 0,9$). В гидроморфных условиях почвообразования Cd наиболее подвижен из рассматриваемых микроэлементов. Основные фазы-носители микроэлемента в почвах – карбонаты, органоминеральные комплексы, алюмосиликаты, соединения Fe и Mn [22, 23]. Корреляции валового содержания Cd со свойствами почв ландшафтно-геохимической мезокатены Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей очень слабые: с гумусом $r = 0,13$; с величиной pH – $r = -0,11$; с содер-

жанием фракции физической глины – $r = 0,15$ ($n = 39$). Латеральной аккумуляции Cd в лугово-черноземных почвах, выступающих в качестве подчиненных по отношению к типичным черноземам в ландшафтно-геохимической мезокатене Ташлянского ландшафта, не установлено ($L = 0,9$). К такой особенности латеральной дифференциации Cd приводит его высокая миграционная подвижность в гидроморфных лугово-черноземных почвах, в результате чего верхние горизонты содержат меньшее количество микроэлемента, который накапливается на внутрипочвенных слабом щелочном, восстановительном глеевым и сорбционным геохимических барьерах.

Заключение

Проведенное почвенно-геохимическое изучение микроэлементного состава гидроморфных лугово-черноземных почв Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей на территории Ставропольского края показало особенности, присущие формированию почвенных соединений микроэлементов в условиях переувлажнения. Избыточное поступление воды в почвы в результате грунтового или периодически проявляющегося поверхностного увлажнения приводит к образованию в почвенном профиле нескольких геохимических барьеров, на которых микроэлементы закрепляются в форме различных соединений. В лугово-черноземных почвах за счет поступления значительной массы растительного опада и ее гумификации происходит формирование биогеохимического барьера, на котором биогенной аккумуляции подвергаются Zn и Cu. Интенсивные процессы вторичного окарбонирования вызывают подъем легкорастворимых углекислых солей и их выпадение в виде псевдомицелия в пределах гумусового горизонта. Смена окислительной обстановки на восстановительную глеевую в середине почвенного профиля приводит к образованию восстановительного глеевого геохимического барьера, который частично совмещается с сорбционным и слабым щелочным геохимическими барьерами. Закрепление на данных геохимических барьерах характерно для Pb и Cd.

Основными фазами-носителями микроэлементов в гидроморфных почвах лесостепных ландшафтов Ставропольского края являются органическое вещество, оксиды (гидроксиды) Fe и Mn, алю-

мосиликатные глинистые минералы, карбонаты. Их профильное распределение приводит к специфической радиальной дифференциации связанных с ними микроэлементов и влияет на особенности латеральной геохимической структуры в пределах изученной ландшафтно-геохимической мезокатены Ташлянского ландшафта байрачных лесостепей.

Проведенное исследование формирования микроэлементного состава почв Ставропольского края в условиях переувлажнения, свойственного гидроморфным местоположениям, показало общий характер радиальной и латеральной геохимических структур дифференциации микроэлементов в зависимости от развивающихся в почвенной толще процессов. Необходимость такого изучения определяется важностью понимания всей картины образования системы почвенных соединений микроэлементов в современных ландшафтах, включающих в себя как автоморфные, так и гидроморфные почвы.

Список источников

1. Мотузова Г. В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. Москва: Книжный дом «Либроком». 2009. 168 с.
2. Водяницкий Ю. Н. Природные и техногенные соединения тяжелых металлов в почвах // Почвоведение. 2014. №4. С. 420–432. <https://doi.org/10.7868/S0032180X14040108>
3. Минкина Т. М., Мотузова Г. В., Назаренко О. Г. Состав соединений тяжелых металлов в почвах. Ростов-на-Дону: Изд-во «Эверест», 2009. 208 с.
4. Щеглов Д. И., Брехова Л. И. Процессы почвообразования. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. 58 с.
5. Шальнев В. А. Ландшафты Ставропольского края. Ставрополь: Изд-во СГПУ, 1995. 52 с.
6. Протасова Н. А. Микроэлементы в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья: автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.27 / Протасова Нина Алексеевна. Воронеж, 2002. 40 с.
7. Протасова Н. А., Щербаков А. П. Микроэлементы (Ti, Mn, Cr, V, Ni, Zn, Cu, Co, Mo, Be, Ba, Sr, Zr, Ga, B, I) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2003. 368 с.

8. Горбунова Н. С., Протасова Н. А. Формы соединений марганца, меди и цинка в черноземах Центрально-Черноземного региона // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Химия. Биология. Фармация. 2008. № 2. С. 77–85.
9. Сосорова С. Б., Кашин В. К. Свинец в почвах дельты реки Селенга // Почвоведение. 2021. № 2. С. 196–210.
10. Ахтырцев Б. П., Ахтырцев А. Б., Яблонских Л. А. Тяжелые металлы и радионуклиды в гидроморфных почвах лесостепи Русской равнины и их профилное распределение // Почвоведение. 1999. № 4. С. 435–444.
11. Кулинцев В. В., Годунова Е. И., Желнакова Л. И. и др. Система земледелия нового поколения Ставропольского края. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2013. 520 с.
12. Дзыбов Д. С. Растительность Ставропольского края. Ставрополь: АГРУС, 2018. 492 с.
13. Дьяченко В. В. Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа. Ростов-на-Дону: Комплекс, 2004. 268 с.
14. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
15. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР. 1957. 238 с.
16. Martinez C. E., Bazilevskaya K. A., Lanzirrotti A. Zinc coordination to multiple ligand atoms in organic rich surface soils // Environ. Sci. Technol. 2006. Vol. 40. P. 5688-5695.
17. Гречишкина Ю. И. Сохранение и воспроизводство плодородия черноземных почв для повышения продуктивности агроценозов Центрального Предкавказья: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 // Гречишкина Юлия Ивановна. Ставрополь, 2020. 469 с.
18. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений: экофизиологический подход к биомониторингу и биовосстановлению / под ред. Н. С. Касимова. Москва: ГЕОС, 2005. 456 с.
19. Covelo E., Vega F., Andrade M. Competitive sorption and desorption of heavy metals by individual soil components // Journal of Hazardous Materials. 2007. Vol. 140. P. 308-315.
20. Понизовский А. А., Мироненко Е. В. Механизмы поглощения свинца (II) почвами // Почвоведение. 2001. №4. С. 418–429.

21. Bradl H. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004. Vol. 277. P. 1-18.
22. Zachara JM, Cowan CE, Resh CT. Sorption of divalent metals on // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991. Vol. 55. No. 6. P. 1549-1562.
23. Дегтярева Т. В., Соляник Е. Н., Мельничук В. В., Ляшенко Е. А. Формирование микроэлементного состава почв полупустынных ландшафтов Ставропольского края // *Наука. Инновации. Технологии*. 2022. №2. С. 73–88. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2022.2.4>

References

1. Motuzova GV. Joints of microelements in soils: system organization, environmental significance, monitoring. Moscow: Book House "Librock"; 2009. 168 p. (In Russ.).
2. 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>
3. Minkina TM, Motuzova GV, Nazarenko OG. Composition of heavy metal compounds in soils. Rostov-on-Don: Publishing house «Everest»; 2009. 208 p. (In Russ.).
4. Shcheglov DI, Brekhova LI. Soil formation processes. Voronezh: VSU Publishing House; 2016. 58 p. (In Russ.).
5. Shalnev VA. Landscapes of Stavropol Krai. SGPU Publishing House; 1995. 52 p. (In Russ.).
6. Protasova NA. Microelements in chernozems and gray forest soils of the Central Chernozem Region: author's abstract dissertation of dr. boil. sciences: 03.00.27. Voronezh; 2002. 40 p.
7. Protasova NA, Shcherbakov AP. Microelements (Ti, Mn, Cr, V, Ni, Zn, Cu, Co, Mo, Be, Ba, Sr, Zr, Ga, B, I) in chernozems and gray forest soils of the Central Chernozem Region. Voronezh: Voronezh University Publishing House; 2003. 368 p. (In Russ.).
8. Gorbunova NS, Protasova NA. Forms of manganese, copper and zinc compounds in chernozems of the Central Black Earth Region. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2008;(2):77-85. (In Russ.).
9. Sosorova SB, Kashin VK. Lead in soils of the Selenga River delta. *Eurasian Soil Science*. 2021;(2):196-210.
10. Akhtyrtsev BP, Akhtyrtsev AB, Yablonskikh LA. Heavy metals and radionuclides in hydromorphic soils of the forest-steppe of

- the Russian Plain and their profile distribution. *Eurasian Soil Science*. 1999;(4):435-444.
11. Kulintsev VV, Godunova EI, Zhelnakova LI, et al. New generation farming system of Stavropol Krai. Stavropol: AGRUS of Stavropol State Agrarian University; 2013. 520 p. (In Russ.).
 12. Dzybov DS. Vegetation of Stavropol Krai. Stavropol: AGRUS; 2018. 492 p. (In Russ.).
 13. Dyachenko VV. Geochemistry, systematics and assessment of the state of landscapes of the North Caucasus. Rostov-on-Don: Complex; 2004. 268 p. (In Russ.).
 14. Vinogradov AP. Average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust. *Geochemistry*. 1962;(7):555-571. (In Russ.).
 15. Vinogradov AP. Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils. Moscow: Publishing house of the USSR Academy of Sciences; 1957. 238 p. (In Russ.).
 16. Martinez CE, Bazilevskaya KA, Lanzirotti A. Zinc coordination to multiple ligand atoms in organic rich surface soils. *Environ. Sci. Technol*. 2006;40: 5688-5695.
 17. Grechishkina Yul. Preservation and reproduction of the fertility of chernozem soils to increase the productivity of agroecosystems of the Central Ciscaucasia: dissertation of dr. agricult. sciences: 06.01.04. Stavropol; 2020. 469 p.
 18. Bargalyi R. Biogeochemistry of terrestrial plants: an ecophysiological approach to biomonitoring and bioremediation. Edited by NS. Kasimov. Moscow: GEOS; 2005. 456 p. (In Russ.).
 19. Covelo E, Vega F, Andrade M. Competitive sorption and desorption of heavy metals by individual soil components. *Journal of Hazardous Materials*. 2007;140:308-315.
 20. Ponizovsky AA, Mironenko EV. Mechanisms of lead (II) absorption by soils. *Eurasian Soil Science*. 2001;(4):418-429. (In Russ.).
 21. Bradl H. Adsorption of heavy metal ions on soils and soil constituents. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2004;277:1-18.
 22. Zachara JM, Cowan CE, Resh CT. Sorption of divalent metals on calcite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1991;55(6):1549-1562.
 23. Degtyareva TV, Solyannik EN, Melnichuk VV, Lyashenko EA. Formation of microelement composition of soils of semi-desert landscapes of Stavropol Krai. *Science. Innovations. Technologies*. 2022;(2):73-88. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2022.2.4>

Информация об авторе

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

Вклад автора

Татьяна Васильевна Дегтярева. Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Подготовка и редактирование текста, формирование его окончательного варианта.

Information about the author

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

Contribution of the author

Tatyana V. Degtyareva. Conducting research – collecting, interpreting and analyzing the obtained data. Preparing and editing the text, forming its final version.