

Особенности макро-, микроэлементного состава и свойств бурых лесных почв равнинных и горных ландшафтов России

© 2022. Г. В. Нестерук¹, н. с., Т. М. Минкина², д. б. н., профессор, Ю. А. Фёдоров², д. г. н., профессор, О. С. Безуглова², д. б. н., профессор, Л. Ю. Гончарова², к. б. н., доцент, Д. Г. Невидомская², к. б. н., с. н. с., Ю. А. Литвинов², к. б. н., ст. преподаватель,

¹Южный научный центр РАН, 344006, Россия, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, д. 41, ²Южный федеральный университет, 344006, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, д. 105, e-mail: galanesv@yandex.ru, tminkina@mail.ru

Исследована роль бурых лесных почв как возможных аккумуляторов тяжёлых металлов, склонных к масс-переносу в окружающей среде Азово-Черноморского бассейна и бассейна Балтийского моря. Определены физико-химические свойства почв, содержание и особенности распределения в почвах химических элементов в условиях горного (Кавказский заповедник) и равнинного (Полистовский заповедник) почвообразования. Для горной территории установлены высокое содержание Pb, As, Cu, Co, Zn, V, макроэлементов, особенно в текстурном горизонте и почвообразующей породе. Выявлено влияние почвообразующей породы, гранулометрического состава, а для почв горной территории – и рельефа на аккумуляцию и распределение элементов в профиле почв. Отмечена неоднородность почвообразующей и подстилающей пород равнинного участка, возрастание содержания элементов в подстилающих отложениях. В бурых лесных почвах горной территории более выражено преобразование первичных минералов, равнинной – перемещение илистых частиц без трансформации минеральной массы. Полученные значения по содержанию Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cr, Mn, Co, Sr, V в почвах могут быть использованы для определения региональных фоновых значений этих ингредиентов и расчёта их потоков, формирующихся в результате водной и ветровой эрозии. Рассчитаны кларки концентрации и рассеяния элементов, построены их геохимические спектры.

Ключевые слова: бурые лесные почвы, гранулометрический состав, микро- и макроэлементы, содержание, распределение.

Macro- and microelemental composition and properties specificity of Cambisols of plain and mountain landscapes of Russia

© 2022. G. V. Nesteruk¹ ORCID: 0000-0002-2473-8806^{*}, T. M. Minkina² ORCID: 0000-0003-3022-0883^{*}, Yu. A. Fedorov² ORCID: 0000-0001-7411-3030^{*}, O. S. Bezuglova² ORCID: 0000-0003-4180-4008^{*}, L. Yu. Goncharova² ORCID: 0000-0003-4295-1632^{*}, D. G. Nevidomskaya² ORCID: 0000-0002-0138-4443^{*}, Yu. A. Litvinov² ORCID: 0000-0001-7204-2734^{*}

¹Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 41, Chehova Prospekt, Rostov-on-Don, Russia, 344006,

²Southern Federal University, 105, Bolshaya Sadovaya St., Rostov-on-Don, Russia, 344006, e-mail: galanesv@yandex.ru, tminkina@mail.ru

The role of Cambisol soil microparticles as possible storage of heavy metals able to mass-transfer in the Azov Sea – Black Sea basin and the Baltic Sea basin environments was studied. The physical and chemical properties of soils, content and distribution features of elements in soil profiles have been defined. The studied soils are in the mountain (Caucasian Natural Reserve) and plain (Polistovsky Natural Reserve) soil-forming conditions. In mountainous territory the higher content of trace elements Pb, As, Cu, Co, Zn, V and macroelements were set up, and enhanced microelemental values in textural horizon and parent rock were defined. The influence of parent rock and particle size distribution on elemental accumulation and allocation within the profiles of studied soils has been observed. In soils of the plain territory the lithological heterogeneity of soil profiles with the elemental value increasing in underlying deposits were indicated. In the mountain area the significance of the relief for the character of profile distribution of elements was set up. It was diagnosed more marked transformation of primary minerals in the brown forest soils of the mountainous territory, and the movement of silty particles without the mineral mass

changing in ones of the plain. The obtained content of Ni, Cu, Zn, As, Pb, Cr, Mn, Co, Sr, V in the studied soil could be used to define these ingredients regional background values and levels of their emission as a result of the water and wind erosion. The clarks of concentration and clarks of dispersion of elements were calculated and the geochemical spectra were constructed.

Keywords: camisoles, particle size, micro- and macroelements, content, distribution.

Содержание микроэлементов в почвах фоновых территорий – точка отсчёта при оценке загрязнения почв тяжёлыми металлами. При нормировании нагрузки на почвенный покров важно установление региональных фоновых содержаний химических элементов в почвах как компонентах ландшафта в зависимости от условий аккумуляции и миграции веществ в них. Бурые лесные почвы (бурозёмы) распространены в Европе, странах Балтии. В России ранее их выделяли только в приморских и горных районах, позже – в Ленинградской, Смоленской, Псковской и Новгородской областях. Развиваются эти почвы на плотных осадочных, метаморфических, изверженных породах, красно-бурых суглинках, жёлтых глинах, элюво-делювии основных, моренных карбонатных, бескарбонатных пород, остаточных-карбонатных камовых и валунных песках [1]. Своеобразие бурозёмов впервые отметили Р. Ризположенский (1892), Н.М. Сибирцев (1900), К.Д. Глинка (1914), С.В. Зонн и А.Ф. Неганов (1938); на уровне типа их выделил Э. Раманн (1905). Фундаментальными считаются труды по почвам Европейской России Л.И. Прасолова (1947), Д.Г. Виленского (1947), В.М. Фридланда (1950, 1953, 1983), И.П. Герасимова (1959), С.В. Зонна (1952, 1966, 1974), С.А. Захарова (1966); по почвам Крыма – Е.И. Соколовой (1947); Карпат – Е.Н. Рудневой (1957); Северо-Западного Кавказа – В.Ф. Валькова (1967), С.Н. Алёхина (1980). Недавние работы [2–9] посвящены бурозёмам, в том числе [10–14] – их элементному составу. Сравнения бурозёмов разных районов единичны [10], поэтому изучение их макро- и микроэлементного состава на разных территориях весьма актуально.

Цель работы – выявить особенности химического состава и свойств бурых лесных почв двух ключевых участков равнин таёжной зоны и горных областей. Задачи работы: изучить физико-химические свойства почв, их элементный состав и факторы накопления и распределения элементов в почвах.

Объекты и методы исследования

Участки Полистовского государственного природного заповедника (ППЗ) и Кавказ-

ского государственного природного биосферного заповедника (КГПЗ) отличаются по физико-географическим характеристикам. Первый участок с расчленённым горным рельефом расположен в охранной зоне КГПЗ рядом с базой практики ЮФУ «Белая речка» (Республика Адыгея, рис. 1). Средняя температура января +4,2 °С, июля–августа +20–+21 °С. Из годовых осадков (700–1200 мм) половина выпадает весной и ранним летом. Среди почв широко распространены бурые лесные. На территории заповедника было заложено 2 почвенных разреза. Разрез № 1 занимает нижнюю часть склона в буково-грабовом лесу с подстилкой из слаборазложившегося опада листьев. Почва – бурая лесная слабонасыщенная малогумусная маломощная среднесуглинистая на элювии аргиллитов. Разрез № 2 на выровненном участке склона под разреженным травяным покровом вскрыл бурую лесную слабонасыщенную среднесуглинистую среднесуглинистую тяжелосуглинистую почву на жёлто-бурых глинах.

Второй участок находится в ППЗ Псковской области (рис. 1). Климат ППЗ – умеренный. Средняя температура января –8,1 °С, июля +17,2 °С. Более половины годовой суммы осадков (685–700 мм) выпадает поздней весной и летом. Зональные почвы – дерново-подзолистые, на торфяных болотах развиты торфяные болотные и торфяно-глеевые, на моренных холмах (минеральных островах) – бурые лесные, дерново-карбонатные и др. почвы. Разрез № 3 в верхней части минерального острова Криман под дубовым с примесью липы, берёзы, осины лесом с разреженным травяным покровом и хорошо разложившимся опадом, вскрыл бурую лесную слабонасыщенную малогумусную маломощную легкосуглинистую на среднесуглинистых моренных отложениях почву. Разрез № 4 заложен на пологом склоне минерального острова Тёмный под ельником разнотравно-кустарничковым с брусникой, осоками, злаками, кукушкиным льном с маломощной лесной подстилкой. Почва – подзолисто-бурая лесная глееватая малогумусная маломощная легкосуглинистая на моренных суглинках. В местах заложения разрезов подстилающая моренные отложения порода (пермские глины) находится на глубине 60 см.

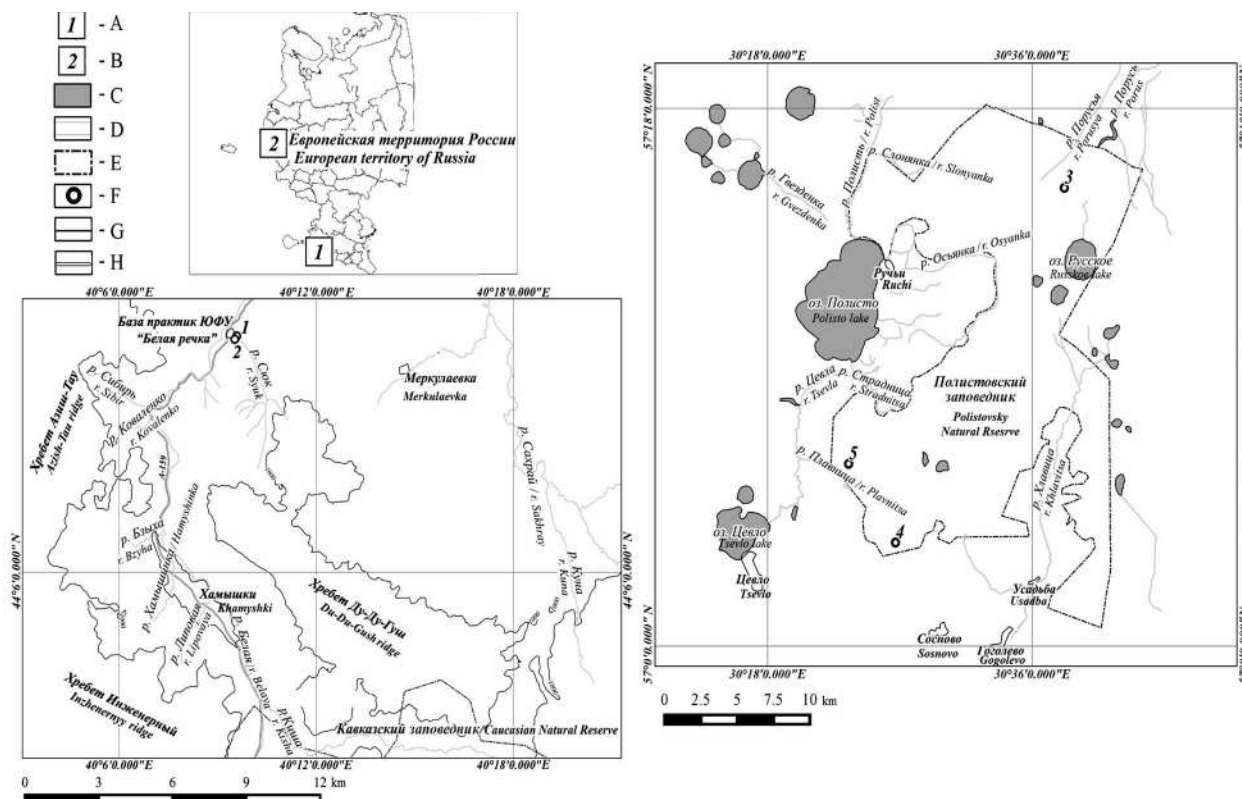


Рис. 1. Положение участков исследования и почвенных разрезов (1–4) на карте: А – Полістовський заповідник, В – Кавказський заповідник, С – гідрографія, D – населені пункти, E – границі особо охороняємих природних територій, F – положення ґрунтових розрізів, G – ізолінії через 1000 м, H – автодороги

Fig. 1. Location of investigated area and soil pits (1–4) on the map: A – Polistovsky Natural Reserve, B – Caucasian Natural Reserve, C – hydrography, D – localities, E – boundaries of specially protected natural territories, F – position of soil pits, G – isolines through 1000 m, H – auto roads

Исследуемые почвы формируются под смешанными лесами в условиях как равнинного, так и горного рельефа. Положение почв на возвышенных элементах рельефа, высокая зольность опада благоприятствуют развитию почв с отсутствием или слабым проявлением подзолистого процесса.

Образцы отобраны по генетическим горизонтам. Элементный состав почв исследован рентген-флуоресцентным методом на спектроскане «МАКС-GV», гранулометрический состав – пипеточным методом (пирофосфатная подготовка по ГОСТ 12536-2014), $S_{орг}$ – титриметрически (по И.В. Тюрину), поглощённые основания – комплексометрически, рН водной вытяжки – потенциметрически, ёмкость катионного обмена (ЕКО) – по Бобко-Аскинази. Повторность измерений трёхкратная. Рассчитаны коэффициенты оглинивания (K_0) по Крупенникову, структурности (K_c) по Вадюниной, выноса–накопления (K) по Ковде, миграции (K_m) по методикам [15–16] и отношения: $CI_A = Al_2O_3 \cdot 100 / (Al_2O_3 +$

$(CaO - P_2O_5 \cdot 10/3) + Na_2O + K_2O$) [16], TiO_2 / Al_2O_3 , $(CaO + MgO) / Al_2O_3$, $(Fe_2O_3 + MnO) / Al_2O_3$, SiO_2 / R_2O_3 по [17]. Рассчитывали кларки концентрации (КК) как отношения содержания элемента в почве к кларку в земной коре и обратные им величины – кларки рассеяния (КР); строили геохимические спектры элементов.

Результаты и обсуждение

Распределение $S_{орг}$ по профилю почв регрессивно-аккумулятивное (табл. 1), что свойственно данному типу почв [4]. Реакция рН варьировала от кислой в верхних горизонтах разрезов №№ 1, 3, 4 до нейтральной в нижних горизонтах разреза № 2. Ёмкость катионного обмена увеличивалась в верхних горизонтах в связи с высоким содержанием $S_{орг}$, несмотря на низкие значения рН и степени насыщенности основаниями. По гранулометрическому составу бурые лесные почвы ПППЗ легкосуглинистые. Эту особенность бурозёмов подзолистой зоны отмечал ещё

В.М. Фридланд (1953). Почвы КГПБЗ (табл. 2) средне- и тяжелосуглинистые. Выявлено увеличение содержания ила (частиц менее 0,001 мм) в срединных и нижних горизонтах почв; опесчаненность и невысокая доля мелкозёма и ила в верхних горизонтах почв разрезов №№ 1, 3, 4 (табл. 2). Отмечена высокая потенциальная способность к оструктурированию и интенсивное оглинивание, особенно в почве разреза № 2 на жёлто-бурых глинах.

Высокие значения коэффициентов структурности (K_c) и оглинивания (K_o) в горизонтах В(Вt) и ВС (табл. 2) подтверждаются на макроуровне в виде слабой лакировки по граням педов. Оглинивание почв ПППЗ слабее из-за температурных условий и молодости субстрата. Оглеение по граням педов в горизонтах ВС, С разреза № 4 вызвано периодическим сезонным застоём влаги.

Накопление SiO_2 и вынос R_2O_3 в нижние горизонты (табл. 3) в почвах ПППЗ обусловлены также оглиниванием и лессиважем. Высокие содержания CaO , MgO , K_2O в почвах КГПБЗ

связаны с их биогенным накоплением, а также с обогащённостью материнских пород элементами. Узкий диапазон отношений SiO_2/R_2O_3 для разрезов №№ 1–2 (3,6–3,9 и 2,2–3,4) по сравнению с №№ 3–4 (3,6–7,2 и 3,3–7,2) объясняется большей оглиненностью почв Кавказского заповедника.

Коэффициенты выноса-накопления R_2O_3 , коэффициенты миграции (табл. 3) указывают на обеднение Fe, Al горизонтов A_0 , A_1 , накопление их в горизонте ВС, кроме почвы разреза № 1, который не дифференцирован по содержанию Fe и Al. Узкий диапазон значений TiO_2/Al_2O_3 в почвах КГПБЗ (0,07–0,10) указывает на однородный минералогический состав относительно почв ПППЗ (0,08–0,15) (табл. 3). Повышенные коэффициенты окисления (Fe_2O_3+MnO/Al_2O_3 и CIA в почвах разрезов №№ 1–2 (85,2–89,0) относительно разрезов №№ 3–4 (73,3–86,8) диагностируют высокую биологическую активность, интенсивную трансформацию первичных минералов в горных условиях по сравнению

Таблица 1 / Table 1

Физико-химические свойства бурых лесных почв Кавказского и Полистовского заповедников
Physical and chemical properties of brown forest soils of Caucasian and soils of Polistovsky Reserves

№ разреза Pit No	Горизонты почв, см Soil horizons, cm	$C_{opr.}, \%$ $C_{org.}, \%$	pH_{H_2O}	ЕКО, смоль(+)/кг СЕС, cmol(+)/kg	Обменные основания / Exchangeable bases	
					сумма, смоль(+)/кг sum, cmol(+)/kg	степень насыщенности, % base saturation, %
1	A_1 4–31	2,6±0,2	4,5±0,1	22,9±1,5	18,1±2,1	49,8±0,4
	AB 31–50	1,7±0,1	5,6±0,1	14,3±1,3	11,9±3,4	48,7±0,3
	B 50–64	0,5±0,1	5,7±0,1	19,2±1,4	10,6±1,8	49,3±0,4
	BC 64–80	0,4±0,1	5,8±0,1	17,9±1,1	11,2±1,0	55,0±0,3
	C 80–102	0,1±0,1	5,7±0,1	19,7±0,3	12,9±0,3	62,0±0,3
2	A_0 5–2	–	6,2±0,1	43,8±0,4	42,0±0,5	64,3±0,3
	A_1 20–39	3,8±0,2	6,6±0,1	29,9±0,7	28,0±1,4	78,9±0,4
	AB 39–55	2,4±0,1	6,3±0,1	27,1±0,2	26,3±0,9	74,7±0,2
	B 55–77	0,7±0,1	6,6±0,1	23,5±0,4	22,8±1,1	70,0±0,4
	BC 77–100	0,5±0,1	7,0±0,1	36,5±0,4	26,0±1,2	79,2±0,2
C 100–128	0,1±0,1	7,0±0,1	36,3±0,6	35,3±1,3	81,2±0,2	
3	A_0 0–2	–	5,0±0,1	22,7±0,9	15,6±2,3	52,1±1,1
	A_1 2–13	0,7±0,1	5,1±0,1	13,9±0,3	7,5±2,1	41,9±2,0
	AB 13–20(22)	0,7±0,1	5,7±0,1	10,1±0,2	5,0±1,9	39,8±2,0
	B 20(22)–38(40)	0,2±0,1	5,3±0,1	12,8±0,2	8,1±1,8	42,9±2,3
	C > 38(40)	0,2±0,1	5,8±0,1	15,1±1,0	11,9±1,1	65,6±3,5
4	A_1 1,5(2)–12	1,0±0,2	4,6±0,1	21,8±0,5	10,0±3,0	44,1±4,0
	A_2 12–19	0,5±0,1	4,7±0,1	18,6±1,3	12,0±0,9	52,6±4,2
	Bt 19–34	0,3±0,1	4,8±0,1	19,2±1,3	15,4±2,1	60,5±1,7
	BC 34–44	0,2±0,1	5,0±0,1	21,8±0,9	15,0±2,2	68,3±1,4
	C > 44	0,2±0,1	5,0±0,1	22,8±0,1	16,2±0,1	65,0±3,1

Примечание: $C_{opr.}$ – содержание органического вещества, pH_{H_2O} – pH водной вытяжки, ЕКО – ёмкость катионного обмена.
Note: $C_{org.}$ – organic matter content, pH_{H_2O} – pH of water extract, СЕС – cation exchange capacity.

Таблица 2 / Table 2

Гранулометрический состав горизонтов бурых лесных почв Кавказского и Полистовского заповедников / Particle size distribution of horizons of brown forest soils of Caucasian and Polistovsky Reserves

№ разреза Pit No	Горизонты horizons	Содержание гранулометрических фракций, мм Content of fractions, mm							K _o	K _c
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	< 0,01		
1	A ₁	0,6	66,1	6,4	8,5	15,1	3,3	26,9	0,51	11,0
	AB	0,4	53,9	16,4	8,6	16,0	4,7	29,3	0,67	10,5
	B	0,7	50,4	14,5	9,4	16,1	8,9	34,4	1,08	25,3
	BC	0,3	47,9	8,5	13,5	17,5	12,3	43,3	1,19	31,1
	C	0,6	49,1	11,3	14,2	15,5	9,3	39,0	1,00	22,7
2	A ₁	0,3	8,9	45,2	6,2	8,0	31,4	45,6	1,16	52,9
	AB	1,0	9,0	39,3	4,5	11,1	35,1	50,7	1,16	63,9
	B	0,0	7,5	42,9	6,4	11,0	32,2	49,6	1,09	53,4
	BC	0,2	5,2	38,1	10,2	9,2	37,1	56,5	1,10	64,5
	C	0,0	0,9	43,1	13,7	9,0	33,3	56,0	1,00	50,6
3	A ₁	21,9	33,2	19,8	11,5	6,1	7,5	25,1	0,53	20,1
	AB	8,5	41,0	29,5	7,4	6,6	7,0	21,0	0,59	16,1
	B	6,9	18,5	29,5	8,5	9,8	26,8	45,1	1,13	62,9
	C	6,3	32,9	20,7	6,0	11,4	22,7	40,1	1,00	59,6
4	A ₁	4,8	44,8	30,2	6,1	9,2	4,9	20,2	0,47	10,8
	A ₂	10,4	40,2	22,8	9,1	8,7	8,8	26,6	0,65	21,7
	Bt	6,8	38,0	22,7	9	4,8	18,7	32,5	1,12	51,2
	BC	5	20,3	33,9	11,4	5,6	23,8	40,8	1,14	46,8
	C	5,2	18,9	38,8	10,5	7,6	19	37,1	1,00	33,4

Примечание: K_c – коэффициент структурности (по Вадюниной); K_o – коэффициент оглинения (по Крупеникову).

Note: K_c – structural coefficient (by Vadyunina); K_o – coefficient of argillization (by Krupennikov).

с равнинными. Увеличение CIA по профилю почв ПППЗ может быть следствием сезонного переувлажнения при наличии водоупора, которым является тяжелосуглинистая подстилаящая порода.

Содержания большинства микроэлементов в почвах КГПБЗ выше, а K₂O, P₂O₅ (2,4 и 0,11%) близки к значениям для ПППЗ (2,0 и 0,13%). Установлены ряды КК и КР. Для бурых лесных почв горных условий: КК Pb (3,8) > As (3,0) = Cu (3,0) > Co (2,3) > Zn (1,7) > V (1,6) > Fe (1,2) = Mn (1,2) = Ni (1,2); КР Sr (2,1) > Cr (1,7); и равнинной территории: КК As (2,2) > Co (1,7) > Pb (1,4) > Cu (1,1); КР Sr (2,7) = Cr (2,7) > Ni (1,7) > Fe (1,4) > Zn (1,1) = Mn (1,1) = V (1,1). Спектры показывают, что бурые лесные почвы Кавказского заповедника обогащены Pb, As, Cu, Co, Zn, V и обеднены Cr, Sr относительно кларков в почвах (по А.П. Виноградову). В почвах Полистовского заповедника выявлены высокие содержания As, Co, Pb и низкие – Sr, Cr, Ni, Fe. В 1,5–2 раза большее содержание As, Cu, Zn, Pb, Co, V в почвах КГПБЗ по сравнению с почвами ПППЗ связано с бо-

гатством этими элементами почвообразующих пород и оглиненностью профиля. На невысокое содержание микроэлементов в суглинистых моренных отложениях Северо-Запада России и прилегающих территорий указывали и другие авторы [19–20]; вариабельность химического состава почвообразующих пород упомянута в труде [21].

Слабая дифференциация профиля по содержанию микроэлементов в бурозёмах КГПБЗ связана с их однородным гранулометрическим составом (в наиболее оглиненном горизонте BC содержания максимальны). В почвах ПППЗ выражено возрастание величин с глубиной, особенно в подзолисто-бурой лесной глееватой почве из-за влияния неоднородности почвообразующей и подстилаяющей пород. В почвах с мощной и переработанной лесной подстилкой возрастает биогенное накопление Mn, As, Ni.

Уменьшение содержания Ni, Mn в горизонтах A₁, AB почвы разреза № 2 (рис. 2), занимающей транзитное положение в рельефе, связано с выносом элементов с мелкозёмом, латеральным переносом, качественным составом раститель-

ности. Турбация верхних горизонтов (разрез № 3), неоднородность отложений (разрез № 4) объясняют низкие коэффициенты выноса–накопления (табл. 4). На профильное распределение элементов в горных условиях влияет положение на склоне, характер растительности, а в равнинных – свойства, текстурные особенности и неоднородность почвообразующих и подстилающих коренных пород.

От содержания физической глины сильно зависят уровни накопления Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO в почве ($r = 0,78-0,99, p < 0,05$). В почвах КГПБЗ большинство элементов аккумулируется в горизонте ВС (рис. 2), а в почвах ПГПЗ – в ВС и С, что связано с наличием подстилающей породы. Содержание большинства микроэлементов коррелирует с процентом физической глины: Zn ($r = 0,84, p < 0,05$), Ni, Cu ($r = 0,77-0,84, p < 0,05$), за исключением Mn, величина которого коррелирует с органическим веществом ($r = 0,68, p < 0,05$). Для остальных элементов обнаружена слабая или отрицательная

связь с содержанием C_{орг} в силу особенностей профильного распределения органического вещества. Выявлена положительная корреляция содержания Fe, Ni, Cu, Mn, Pb со степенью насыщенности основаниями ($r = 0,68-0,84$), всех рассматриваемых микроэлементов – с величиной pH ($r = 0,67-0,84, p < 0,05$), особенно в бурых лесных почвах Кавказского заповедника.

Выводы

1. Бурые лесные почвы горных ландшафтов (КГПБЗ) отличались высокими концентрациями Pb, As, Cu, Co, Zn, V, а равнинных (ПГПЗ) – As, Co, Pb. Содержание большинства элементов и C_{орг} в горных бурых лесных почвах по сравнению с равнинными были повышенными, а калия и фосфора – близкими.
2. Профильная дифференциация содержания элементов выражена слабее в бурозёмах КГПБЗ, чем в почвах ПГПЗ. Характер распределения элементов в почвах горной

Таблица 3 / Table 3

Содержание макроэлементов (%) и отношения содержаний оксидов в бурых лесных почвах Кавказского и Полистовского заповедников / Content of macroelements (%) and coefficients of oxide ratios in brown forest soils of Caucasian and Polistovsky reserves

Разрезы, горизонты Pits, horizons	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	K	K _m	TiO ₂	CIA	CaO+MgO	Fe ₂ O ₃ +MnO	SiO ₂	
											Al ₂ O ₃		Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	R ₂ O ₃	
1	A ₁	68,36	12,25	5,00	1,09	0,82	0,86	1,87	0,17	0,83	1,28	0,10	85,2	0,14	0,52	3,96
	AB	70,08	13,01	4,77	1,19	0,58	0,93	1,90	0,15	0,83	1,09	0,11	86,7	0,12	0,43	3,94
	B	70,91	13,41	5,04	1,18	0,61	0,93	1,85	0,12	0,85	1,08	0,10	86,6	0,11	0,46	3,84
	BC	70,57	14,28	5,17	1,23	0,53	0,95	1,96	0,11	0,90	0,97	0,10	87,0	0,1	0,43	3,63
	C	65,00	14,80	5,07	1,09	0,68	0,90	1,90	0,15	1,00	1,00	0,09	87,6	0,11	0,40	3,27
2	A ₀	73,59	12,44	5,63	0,90	0,55	0,81	1,80	0,14	0,55	0,96	0,10	86,8	0,11	0,53	4,07
	A ₁	66,83	16,07	6,40	0,86	0,64	1,07	2,06	0,12	0,76	0,93	0,08	87,4	0,11	0,49	2,97
	AB	70,97	13,71	7,30	0,70	0,59	0,90	1,85	0,12	0,67	0,95	0,08	87,0	0,11	0,62	3,38
	B	63,59	16,72	10,70	0,88	0,63	1,12	2,08	0,13	0,97	0,92	0,08	88,0	0,11	0,77	2,32
	BC	60,72	17,91	10,30	0,86	0,76	1,29	2,26	0,12	1,05	1,00	0,07	87,2	0,1	0,72	2,15
C	61,00	18,06	9,00	0,84	0,79	1,27	2,26	0,12	1,00	1,00	0,07	87,2	0,11	0,56	2,25	
3	A ₀	75,39	6,44	2,10	0,63	0,61	0,42	2,13	0,12	0,39	1,76	0,15	73,3	0,16	0,47	8,83
	A ₁	78,84	8,51	2,46	0,83	0,39	0,47	2,19	0,08	0,48	1,11	0,14	78,5	0,10	0,40	7,19
	AB	78,48	9,26	2,48	0,82	0,36	0,54	2,33	0,07	0,52	1,07	0,13	79,0	0,10	0,33	6,68
	B	69,67	14,13	4,47	0,86	0,29	0,91	2,90	0,09	0,92	0,93	0,09	83,0	0,08	0,35	3,75
	C	67,72	14,64	4,98	0,86	0,36	0,97	3,02	0,10	1,00	1,00	0,09	82,3	0,09	0,37	3,45
4	A ₁	78,19	8,61	2,03	0,89	0,67	0,48	2,0	0,09	0,53	1,55	0,15	78,8	0,13	0,29	7,35
	A ₂	79,97	9,0	2,06	0,86	0,42	0,46	2,26	0,08	0,54	1,13	0,14	78,8	0,10	0,29	7,23
	Bt	77,86	10,18	2,60	0,88	0,53	0,60	2,36	0,14	0,64	1,29	0,13	80,7	0,11	0,31	6,09
	BC	66,48	14,95	5,43	0,86	0,43	1,01	2,95	0,17	1,20	1,12	0,09	84,1	0,10	0,39	3,26
	C	76,10	15,20	4,20	0,86	0,42	0,89	2,35	0,14	1,00	1,00	0,08	86,8	0,09	0,30	3,92

Примечание: K – коэффициент выноса–накопления, K_m – коэффициент миграции (по Ковде), CIA – индекс геохимического преобразования.

Note: K – removal-accumulation factor, K_m – migration factor (according to Kovda), CIA – geochemical transformation index.

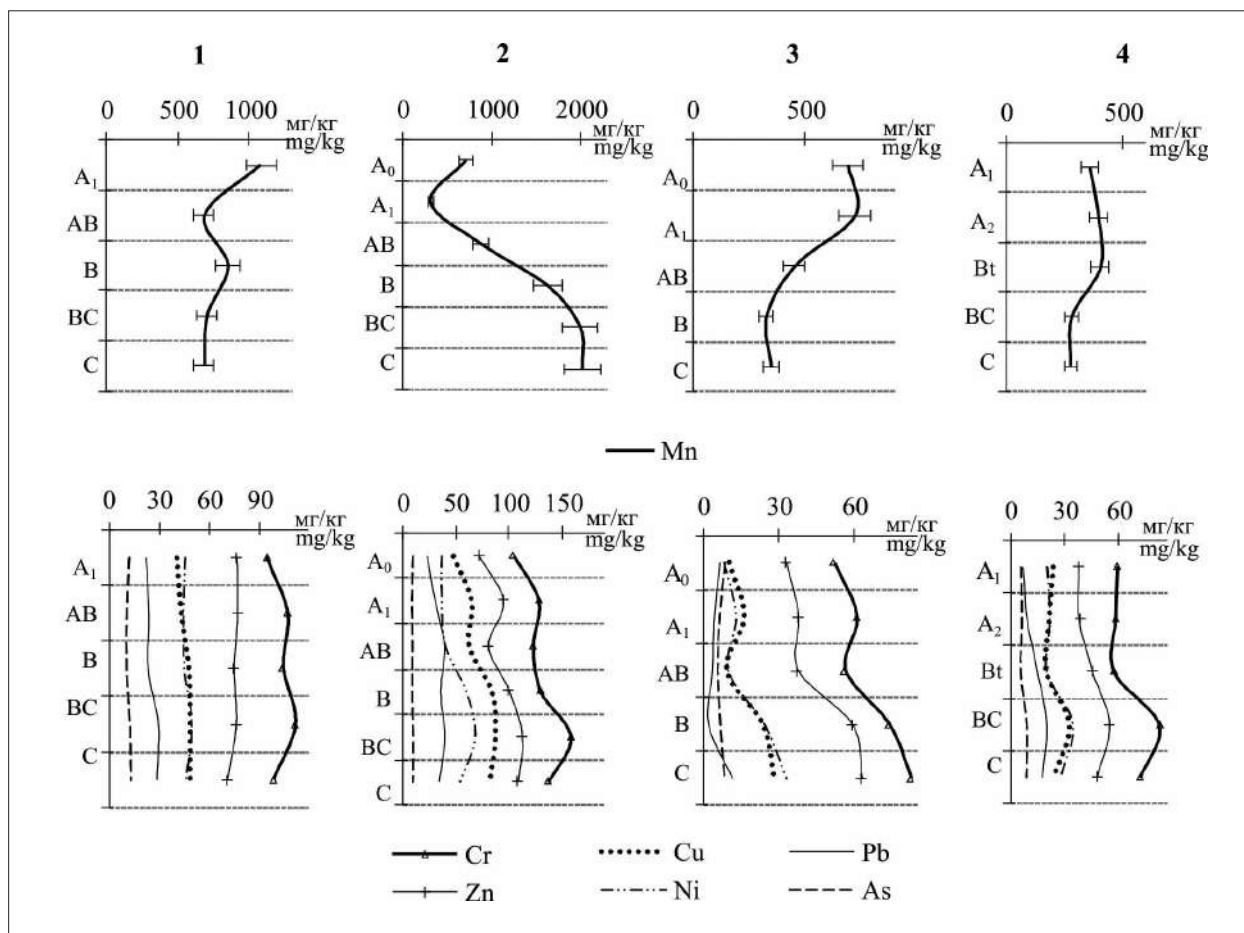


Рис. 2. Распределение микроэлементов по профилю почв. Кавказский заповедник: 1 – бурая лесная слабонасыщенная, 2 – бурая лесная насыщенная; Полистовский заповедник: 3 – бурая лесная слабонасыщенная, 4 – подзолисто-бурая лесная глееватая
Fig. 2. Distribution of microelements in soil profiles. Caucasian Natural Reserve: 1 – Haplic Cambisol, 2 – Haplic Cambisol Calcaric; Polistovsky Natural Reserve: 3 – Haplic Cambisol, 4 – Haplic Luvisol

Таблица 4 / Table 4

Содержания микроэлементов (мг/кг) в бурых лесных почвах Полистовского и Кавказского заповедников / Microelemental content in Cambisols of Polistovsky and Caucasian reserves

Элементы Elements	Кавказский заповедник Caucasian Reserve		Полистовский заповедник Polistovsky Reserve		Кларк в почвах Clark of soil	Кларк в породах Clark of rock
	диапазон variation	медиана median	диапазон variation	медиана median		
					по Виноградову (1962) by Vinogradov (1962)	
Cr	94,4–158,5	117,6	52,2–111,2	65,6	200	83
Ni	36,9–68,3	48,0	8,5–49,3	21,6	40	58
Cu	40,6–86,8	59,5	9,0–48,3	21,2	20	47
Zn	70,3–111,9	85,6	25,9–76,8	45,6	50	85
As	6,7–9,2	8,4	5,6–9,5	7,8	5	1,7
Pb	22,2–39,1	29,8	2,3–29,9	9,9	10	16
Sr	133,8–155,5	142,0	68,3–149,2	99,5	300	340
Co	12,0–29,5	18,2	2,4–22,3	12,3	10	18
V	140,5–178,3	160,7	72,8–170,0	97,5	100	90
Mn	681,8–1326,9	1020,6	284,8–744,5	427,8	850	1000

территории обусловлен влиянием рельефа, в равнинных условиях – неоднородностью и свойствами почвообразующей и подстилающей пород.

3. Выявлена положительная корреляционная связь содержания элементов с величиной физической глины как доминирующей фазой-носителем ($r = 0,77-0,84$, $p < 0,05$), со степенью насыщенности основаниями ($r = 0,60-0,84$), а Mn – с органическим веществом ($r = 0,68$, $p < 0,05$). Связь содержания элементов с величиной рН ($r = 0,67-0,84$, $p < 0,05$) наиболее выражена в бурых лесных почвах Кавказского заповедника.

4. Установлено, что преобразование первичных минералов выражено в почвах Кавказского заповедника, а перемещение илистых частиц без трансформации минеральной массы – в бурых лесных почвах Полистовского заповедника.

Работа выполнена в рамках гранта РФФ № 16-17-10170-П (экспедиционные исследования) и ГЗ Министерства науки и высшего образования РФ № 0852-2020-0029 (анализ физико-химических свойств почв) и при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-05-50097 (анализ содержания макро- и микроэлементов).

References

1. Brown soil formation and pseudopodzolization in the soils of the Russian Plain / Ed. S.V. Zonn. Moskva: Nauka, 1974. 275 p. (in Russian).
2. Gagarina E.I., Sokolova T.A., Sukhacheva E.Y. Clay minerals in weakly podzolized soils of abraded moraine plains in Northwestern Russia // Moscow University Soil Science Bulletin. 2014. V. 69. P. 147–155. doi: 10.3103/S0147687414040048
3. Dymov A.A., Zhangurov E.V. Morphological-genetic characterization of soils on the Enganepe Ridge // Eurasian Soil Science. 2011. V. 44. No. 5. P. 471–479. doi: 10.1134/S1064229311050048
4. Bryk M. Macrostructure of diagnostic B horizons relative to underlying BC and C horizons in Podzols, Luvisol, Cambisol, and Arenosol evaluated by image analysis // Geoderma. 2016. V. 263. P. 86–103. doi: 10.1016/J.GEODERMA.2015.09.014
5. Kacprzak A., Derkowski A., Cambisols developed from cover-beds in the Pieniny Mts. (southern Poland) and their mineral composition // Catena. 2007. V. 71. No. 2. P. 292–297. doi: 10.1016/j.catena.2007.01.004
6. Kierczak J., P dziwiatr A., Waroszewski J., Modelska M. Mobility of Ni, Cr and Co in serpentine soils derived on various ultrabasic bedrocks under temperate climate // Geoderma. 2016. V. 268. No. 15. P. 78–91. doi: 10.1016/j.geoderma.2016.01.025
7. Makhinova A.F., Makhinov A.N., Kuptsova V.A., Yermoshin V.V. Geochemical differentiation of soils in the Amur basin (Russian part) // J. Geochem. Explor. 2013. V. 132. P. 140–148. doi: 10.1016/j.gexplo.2013.06.011
8. Schön W., Mittermayr F., Leis A., Mischak I., Dietzel M. Temporal and spatial variability of chemical and isotopic composition of soil solutions from Cambisols – field study and experiments // Science of the Total Environment. 2016. V. 572. P. 1066–1079. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.015
9. Switoniak M., Mroczek P., Bednarek R. Luvisols or Cambisols? Micromorphological study of soil truncation in young morainic landscapes – Case study: Brodnica and Chełmno Lake Districts (North Poland) // Catena. 2016. V. 137. P. 583–595. doi: 10.1016/j.catena.2014.09.005
10. Aysina N.R., Abakumov E.V., Gagarina E.I. Cambisols of Jiguli reserve mountain ridges // Samarskaya Luka. 2008. V. 17. No. 1 (23). P. 55–70 (in Russian).
11. Balykin S.N., Puzanov A.V. Microelements in mountain brown soils of Gorny Altai // Geography and Natural Resources. 2007. No. 2. P. 186–189.
12. Samofalova I.A., Rogova O.B., Luzyanina O.A., Savichev A.T. The geochemical specificities of distribution of macroelements within the soils of undisturbed landscapes of Middle Ural (on the example of “Basegi” Preserve) // Dokuchaev Soil Bulletin. 2016. No. 85. P. 57–76 (in Russian). doi: 10.19047/0136-1694-2016-85-57-76
13. Chojnicki J., Kwasowski W., Piotrowski M., Oktaba L., Kondras M. Trace elements in arable Cambisols and Luvisols developed from boulder loam and fluvioglacial sands of the Skierniewicka Upland (central Poland) // Soil Science Annual. 2015. V. 66. No. 4. P. 198–203.
14. Soubrand-Colin M., Neel C., Bril H., Grosbois C., Caner L. Geochemical behavior of Ni, Cr, Cu, Zn and Pb in an Andosol–Cambisol climosequence on basaltic rocks in the French Massif Central // Geoderma. 2007. V. 137. P. 340–351. doi: 10.1016/j.geoderma.2006.08.017
15. Val'kov V.F., Kryshchenko V.S. Methods of soil total composition assessment within investigations of soil genesis. Methodical instructions to scientific and research work on soil science. Rostov-on-Don: Rostov state university, 1983. 22 p. (in Russian).
16. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717. doi: 10.1038/299715a0
17. Retallack G.J. Soils of the past: an introduction to paleopedology (2nd ed.). Oxford: Blackwell. 2001. 600 p. doi: 10.1017/s0016756802216519
18. Fedorov Yu.A., Minkina T.M., Shipkova G.V. Heavy metals in landscapes of raised bogs in Pskov region // Geografiya i prirodnye resursy. 2017. No. 2. P. 46–55 (in Russian).
19. Ahmetova G.V. Trace elements content in parent rocks and forest soils lacustrine glacial landscape of Karelian mid-taiga // Lesnoy vestnik. 2008. No. 2. P. 16–20 (in Russian).
20. Matveev A.V., Bordon V.E., Bordon S.V. Trace element clarkes in the main genetic types of quaternary deposits of Belarus // Litasfera. 2007. No. 1 (26). P. 122–126 (in Russian).
21. Matinyan N.N., Reimann K., Bakhmatova K.A., Rusakov A.V. The background concentrations of heavy metals and As in arable soils of the northeast Russia // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta: Seriya 3. Biologiya. 2007. V. 3. P. 123–134 (in Russian).