

АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.41

doi: 10.17223/19988591/46/1

**Г.В. Нестерук (Шипкова)¹, Т.М. Минкина², Ю.А. Федоров²,
Д.Г. Невидомская², С.Н. Сушкова², Е.Ю. Константинова³**

¹ Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия

² Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

³ Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

Содержание и распределение Mn, Fe, Ni, Cu, Zn и Pb в автоморфных почвах Полистовского заповедника

Работа выполнена в рамках реализации госзадания ЮНЦ РАН на 2019 г., № гр. проекта 01201363186 и при поддержке проекта № МК-2973.2019.4.

Изучен элементный состав автоморфных почв Полистовского заповедника (Псковская область, Россия) на локальных возвышенных элементах рельефа: бурозёма типичного, ржавозёма типичного, дерново-буро-подзолистой и серогумусовой остаточно-карбонатной почв. Выявлено сильное влияние литологической неоднородности пород на элементный состав, физические свойства почв и процессы почвообразования. Установлены более высокие валовые содержания Fe, Ni, Pb в ржавозёме типичном по сравнению с бурозёмом типичным и серогумусовой остаточно-карбонатной почвой. Выявлена прямая корреляция между валовым содержанием Fe и валовым содержанием Ni, Cu, Zn, Pb. Практически во всех почвах наблюдается возрастание валового содержания Ni, Cu, Zn, Pb от верхних горизонтов к нижним, а в серогумусовой остаточно-карбонатной – уменьшение. Такая дифференциация элементов соответствует профильному изменению содержания физической глины. Наибольшее содержание подвижных форм Mn, Fe, Ni, Pb наблюдается в органогенных горизонтах почв. Содержание подвижных форм Mn в почвах зависит от количества органического вещества. В слабощелочных горизонтах серогумусовой остаточно-карбонатной почвы происходит увеличение содержания подвижных форм Ni и Mn, в кислых горизонтах бурозёма и дерново-буро-подзолистой почвы – подвижного Fe.

Ключевые слова: микроэлементы; элементный состав почв; бурозём типичный; дерново-буро-подзолистая почва; ржавозём типичный; серогумусовая остаточно-карбонатная почва.

Введение

В связи с возрастающими масштабами воздействия человека на почвенный покров все более актуальным становится вопрос охраны почв. Важную роль в этом играют особо охраняемые природные территории (ООПТ). Ис-

следование содержания микроэлементов в различных компонентах ландшафтов ООПТ имеет большое теоретическое и практическое значение. Характеристики почв эталонных участков служат отправной точкой при мониторинге экологического состояния почвенного покрова, разработке мер по охране почв от загрязнения [1–3]. В настоящее время эталонные участки с ненарушенными почвами можно встретить в пределах некоторых ООПТ, например в Полистовском заповеднике (Псковская область). Этот заповедник занимает часть крупнейшей в Европе Полистово-Ловатской системы верховых болот с ненарушенными природными комплексами, имеющими огромное значение для сохранения живой природы. Широко распространенные на ее территории торфяные залежи служат фильтром для атмосферных осадков, которые через водосбор поступают в реку Неву и Финский залив.

Основная территория Полистовского заповедника занята верховым болотом с множеством озер и малых речек. Внутри болотных массивов распространены минеральные острова. Они представляют собой хорошо дренированные локальные возвышенности, сложенные послеледниковыми моренными отложениями. Уникальность минеральных островов состоит в том, что на этих изолированных образованиях, под лесами из ели, березы и сосны, реже дуба и липы, формируются не типичные для данной местности автоморфные почвы: бурозём типичный, ржавозём типичный, дерново-буро-подзолистая типичная и серогумусовая остаточно-карбонатная почвы.

Известно, что бурозёмы и серогумусовые остаточно-карбонатные почвы – азональные почвы для моренных равнин Северо-Запада России [4–5]. В почвенном покрове исследуемой территории, наряду с дерново-подзолистыми, доминируют дерново-буро-подзолистые почвы. На территории России бурозёмы, дерново-буро-подзолистые и серогумусовые остаточно-карбонатные почвы широко распространены [6]: они формируются под широколиственными и смешанными лесами на элюво-делювии различных по гранулометрическому составу пород. В пределах ООПТ России элементный состав бурозёмов, дерново-карбонатных и других исследуемых почв освещен в работах [7–9].

Автоморфные почвы Полистовского заповедника остаются малоизученными. Их диагностика и определение классификационного положения до настоящего времени не проводились [10–12]. Выявление факторов накопления и распределения химических элементов в различных типах автоморфных почв Полистовского заповедника остается актуальным вопросом, который рассматривается в данной работе.

Цель настоящего исследования – выявить особенности накопления и распределения валовых и подвижных соединений Mn, Fe, Ni, Cu, Zn и Pb в различных типах автоморфных почв Полистовского государственного природного заповедника. Данные элементы выбраны по следующим причинам. Mn и Fe являются типоморфными элементами в почвах гумидных ландшафтов [13]. Ni, Cu, Zn представляют собой важнейшие микроэлементы [14], кото-

рые, наряду с Рb, при повышенных концентрациях рассматриваются в качестве опасных загрязняющих веществ почв в практике как российского, так и международного экологического нормирования и мониторинга [15–17].

Материалы и методики исследования

Изученные автоморфные почвы сформированы на хорошо дренированных локальных возвышенностях в пределах системы болотных массивов Полистовского заповедника на территории Псковской области. Использованы профильный и генетический методы исследования. Заложено 5 полно-профильных почвенных разрезов (рис. 1), образцы отобраны из каждого генетического горизонта. Диагностика почв проведена по Классификации почв России [6], международные названия приведены согласно Мировой реферативной базе данных почвенных ресурсов версии 2015 г. [18].

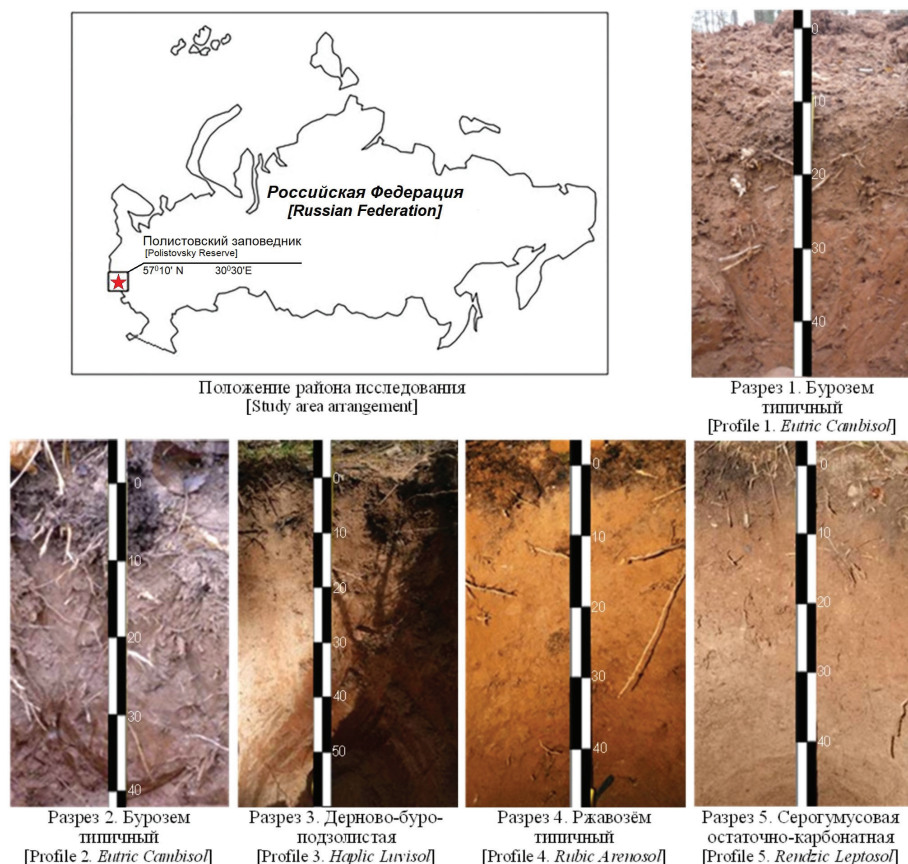


Рис. 1. Карта-схема района исследования и изученные почвенные разрезы.

Автор фото Г.В. Нестерук

[Fig. 1. Schematic map of the survey area and photos of the studied soil profiles. Photos by GV Nesteruk]

Разрезы 1 (57°15'16,60"N, 30°38'7,10"E) и 2 (57°15'16,83"N, 30°38'5,92"E) представлены бурозёмами типичными (*Eutric Cambisols*), расположены на о. Криман в верхней и нижней частях склона соответственно. Почвообразующей породой является моренный суглинок. На склоне распространены дуб, липа, осина, рябина, травяной покров плохо развит, в нижней части появляется багульник болотный. В верхней части склона сформирован маломощный (2 см) листовенный опад, в нижней части – лесная подстилка с большей степенью разложения. Разрез 3 (57°2'54,00"N, 30°25'55,50"E), характеризующий дерново-буро-подзолистую типичную почву (*Haplic Luvisol*), заложен на о. Темный, под ельником кустарниково-травяным (осоки, тростник, ед. *Polytrichum*). Травяной ярус сильно разрежен, мощность подстилки – 2 см. Почвообразующая порода представлена моренным суглинком. На о. Алексеевский на окраине болотного массива разрез 4 (57°6'07,10"N 30°23'30,80"E) вскрыл ржавозём типичный (*Rubic Arenosol*) на моренном суглинке с покровным песком под березо-ельником с рябиной в кустарниковом ярусе и хвощом, тростником, брусникой, багульником в травяно-кустарничковом. Лесная подстилка мощностью 3 см состоит из листьев, ветвей и хвои. Разрез 5 серогумусовой остаточно-карбонатной почвы (*Rendzic Leptosol*) (57°6'55,70" N, 30°26'24,60"E) заложен на о. Чистый под ельником с примесью березы и осины, имеется подрост осины и ели. В кустарниковом ярусе рябина, в травяно-кустарничковом – сныть, костяника, осоки, клевер, земляника и багульник болотный. Подстилка малой мощности и высокой степени разложения. Почвообразующая порода имеет супесчаный состав.

Определены следующие свойства почв: гранулометрический состав методом пипетки Качинского при растирании пробы с пиррофосфатом натрия [19–20], содержание органического углерода – методом бихроматного окисления по И.В. Тюрину, рН солевой и рН водной суспензии – потенциометрическим методом, обменные основания ($\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$) – комплексонометрическим методом, емкость катионного обмена (ЕКО) – аммонийно-ацетатным методом [20–21]. Степень насыщенности почв основаниями (СНО) рассчитана как доля обменных оснований от ЕКО, выраженная в процентах [21].

Валовое содержание Mn, Fe, Ni, Cu, Zn и Pb определено в воздушно-сухих пробах почв путём рентген-флуоресцентного анализа (РФА) на спектрометре Спектроскан МАКС-GV (Спектрон, Россия). Рассчитаны кларки концентрации (КК), кларки рассеяния (КР) элементов для выявления геохимической неоднородности исследуемых почв (кларки земной коры приняты по [22]). Подвижные (непрочно связанные) формы Mn, Fe, Ni, Cu, Zn и Pb извлечены из почв с помощью 1 н аммонийно-ацетатного буфера (NH_4Ac) с рН 4,8 при соотношении почва: раствор – 1:10 (время экстракции – 18 ч) [23]. Дальнейшее определение осуществлялось атомно-абсорбционным методом с использованием спектрометра NOVAA300 (Analytik Jena, Германия).

Корреляцию между определенными элементами и основными физико-химическими свойствами изученных почв оценивали с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена, рассчитанного с использованием программного пакета StatSoft STATISTICA 10 [24]. Рассматривались статистически значимые значения ($p < 0,05$).

Результаты исследования

Физико-химические свойства изучаемых почв. Некоторые характеристики почв, влияющие на накопление и распределение в них соединений Mn, Fe, Ni, Cu, Zn и Pb, приведены в табл. 1. Заметна большая опесчаненность и меньшее содержание илистой фракции в серогумусовой остаточно-карбонатной почве и ржавозёме по сравнению с бурозёмом и дерново-буроподзолистой почвой. Процессы оглинивания в горизонтах BM и C бурозёма типичного подтверждаются на макроморфологическом уровне: наблюдается лакировка на гранях педов. На гранях структурных отдельностей горизонта BT и частично C дерново-буро-подзолистой почвы наличие кутан иллювирувания служит диагностическим признаком протекания подзолистого процесса. Содержание физической глины и ила заметно дифференцируется по профилю, что является следствием литологической неоднородности моренных отложений [25]. Почвообразующая и подстилающая породы отличаются по гранулометрическому составу [26]. Для бурозёма типичного и дерново-буро-подзолистой почвы установлено увеличение содержания физической глины в горизонтах BM (либо BT) и C в 1,3–2,5 раза по сравнению с вышележащими горизонтами. В горизонтах AY, AB бурозёма типичного и дерново-буро-подзолистой почвы содержание физической глины варьирует от 17 до 26%, в BM (BT), C – от 26 до 41% (см. табл. 1). Ржавозём типичный отличается опесчаненной верхней частью профиля и большей дифференцированностью по содержанию физической глины и ила между почвенными горизонтами и почвообразующей породой, в сравнении с другими почвами. Содержание физической глины в горизонтах BFM и BC – 9–12%, а в C возрастает до 35%, что обусловлено двучленностью отложений. В бурозёме типичном, дерново-буро-подзолистой почве и ржавозёме типичном содержание ила в верхних горизонтах меньше по сравнению с нижними. В серогумусовой остаточно-карбонатной, напротив, наблюдается уменьшение содержания физической глины и ила с глубиной (см. табл. 1).

По значениям pH бурозёмы типичные определены как кислые почвы, в то время как ржавозём типичный – слабокислый и нейтральный, серогумусовая остаточно-карбонатная почва – слабощелочная и щелочная (см. табл. 1). С глубиной значения pH во всех почвах слабо возрастают, кроме ржавозёма типичного, в верхних горизонтах которого наблюдаются максимальные величины pH.

Значения ЕКО серогумусовой остаточно-карбонатной почвы в среднем в 2 раза ниже по сравнению с другими почвами (см. табл. 1). Величины ЕКО

уменьшаются от верхних горизонтов к нижним и возрастают к почвообразующей породе. Сумма обменных оснований выше в ржавозёме типичном и дерново-буро-подзолистой почве типичной по сравнению с серогумусовой остаточно-карбонатной почвой и бурозёмом типичным. СНО бурозёма типичного и дерново-буро-подзолистой почвы минимальна среди исследуемых почв. В серогумусовой остаточно-карбонатной почве СНО всего профиля почвы высокая, что связано со свойствами материнской породы.

Все изученные почвы отличаются регрессивно-аккумулятивным типом распределения органического углерода: повышенное содержание в горизонте АУ и резкое падение в нижележащих горизонтах и почвообразующей породе, что вполне закономерно [9, 27]. Ржавозём типичный характеризуется как максимальным накоплением $C_{\text{орг}}$ в горизонте АУ_{ао} (см. табл. 1), так и наиболее значительным снижением его содержания с глубиной. Содержание $C_{\text{орг}}$ в горизонте АУ серогумусовой остаточно-карбонатной почвы в 2 раза, а в дерново-буро-подзолистой почве и бурозёмах в 4–7 раз ниже по сравнению с ржавозёмом типичным.

Таблица 1 [Table 1]

Физико-химические свойства автоморфных почв Полистовского заповедника
[Physical and chemical properties of automorphic soils of Polistovsky Reserve]

Горизонт, см [Horizon, cm]	$C_{\text{орг}}$ [C_{org}], %	Ил [Clay, (<1 μm)], %	Физическая глина [Physical clay (<10 μm)], %	pH_{KCl}	ЕКО, смоль(+)/кг [СЕС, $\text{cmol}(+)/\text{kg}$]	Обменные основания, смоль(+)/кг [Exchangeable bases, $\text{cmol}(+)/\text{kg}$]	СНО [BS], %
Разрез 1. Бурозём типичный [Profile 1. <i>Eutric Cambisol</i>]							
О (0–2)	–	–	–	5,0±0,2	22,7±0,9	15,6±2,3	75,0 ±1,1
АУ (2–13)	0,7 ±0,0	1	26	5,1±0,2	13,9±0,0	7,5±2,1	62,5 ±2,0
АВ (13–21)	0,7 ±0,1	4	21	5,7±0,1	10,1±0,2	5,0±1,9	59,5 ±2,0
ВМ (21–39)	0,2 ±0,0	20	36	5,3±0,2	12,8±0,2	8,1±1,8	70,4 ±2,3
С (>39)	0,2 ±0,0	24	40	5,8±0,0	15,1±1,0	11,9±1,1	78,8 ±3,5
Разрез 2. Бурозём типичный [Profile 2. <i>Eutric Cambisol</i>]							
О (0–1,5)	–	–	–	5,0±0,2	28,4±0,7	13,8±0,9	40,9 ±1,5
АУ (1,5–7)	1,3 ±0,2	2	17	4,8±0,2	16,5±0,5	8,1±1,1	45,9 ±1,8
АВ (7–25)	0,5 ±0,1	2	18	5,3±0,2	14,0±0,8	8,8±2,0	57,0 ±1,3

Окончание табл. 1 [Table 1 (end)]

Горизонт, см [Horizon, cm]	C _{орг} [C _{org}], %	Ил [Clay, (<1 μm)], %	Физическая глина [Physical clay (<10 μm)], %	pH _{KCl}	ЕКО, смоль(+)/кг [CEC, cmol(+)/kg]	Обменные основания, смоль(+)/кг [Exchangeable bases, cmol(+)/kg]	СНО [BS], %
ВМ (25–40)	0,2 ±0,0	17	32	5,6±0,0	17,5±0,9	11,9±0,7	62,0 ±1,9
С (>40)	0,2 ±0,0	26	38	5,5±0,3	19,2±0,6	15,0±2,1	75,0 ±1,9
Разрез 3. Дерново-буро-подзолистая типичная [Profile 3. <i>Haplic Luvisol</i>]							
AY (2–12)	1,0 ±0,2	5	18	4,6±0,1	21,8±0,5	10,0±3,0	52,1 ±4,0
BEL (12–19)	0,5 ±0,1	5	20	4,7±0,2	18,6±1,3	12,0±0,9	62,8 ±4,2
BT (19–34)	0,3 ±0,1	11	26	4,8±0,1	19,2±2,3	15,4±2,1	80,6 ±1,7
С (>34)	0,2 ±0,1	24	41	5,0±0,1	22,8±0,9	15,0±2,2	83,3 ±1,4
Разрез 4. Ржавозём типичный [Profile 4. <i>Rubic Arenosol</i>]							
О (2–5)	–	–	–	6,7±0,2	20,0±0,9	14,6±2,5	74,8 ±3,2
AYao (5–12)	5,5 ±0,2	0	3	6,2±0,2	19,9±0,6	15,2±2,5	75,6 ±2,5
BFM (12–33)	0,2 ±0,0	1	9	6,0±0,1	18,2±0,7	13,3±0,9	81,6 ±4,3
BC (33–53)	0,2 ±0,0	2	12	5,8±0,2	16,2±0,3	12,5±0,9	78,9 ±2,4
С (>53)	0,2 ±0,0	19	35	5,7±0,1	21,6±0,4	18,8±1,7	86,8 ±4,7
Разрез 5. Серогумусовая остаточно-карбонатная [Profile 5. <i>Rendzic Leptosol</i>]							
AY (2–8)	2,6 ±0,2	3	16	7,0 ±0,1*	17±1,2	16,3±1,9	92,5 ±0,7
AC' _{Ca} (8–14)	0,8 ±0,1	4	14	7,5 ±0,1*	9,5±1,4	8,2±1,8	91,2 ±1,0
C' _{Ca} (14–34)	0,3 ±0,1	<1	8	7,8 ±0,1*	6,6±1,1	6,2±1,9	94,4 ±1,0
C'' _{Ca} (>34)	0,1 ±0,0	<1	10	8,2 ±0,2*	5,7±1,2	5,6±1,5	98,2 ±0,7

Примечание. ЕКО – емкость катионного обмена; СНО – степень насыщенности почв основаниями; * pH_{H₂O}; «←» – данный показатель не определялся.

[Note. CEC - Cation exchange capacity; BS - Base saturation; * pH_{H₂O}; "←" denotes undetermined index].

Валовое содержание Mn, Fe, Ni, Cu, Zn и Pb в почвах. В ржавозёме типичном по сравнению с другими почвами содержание (Fe, Ni, Cu, Zn, Pb)_{вал} довольно высокое (табл. 2). В ржавозёме типичном валовое содержание Mn варьирует

от 484,3 до 4890,1, Fe – 20720–71820 мг/кг, Ni – 15,3–57,7 мг/кг, Cu – 15,7–61,4 мг/кг, Zn – 30,1–63,3 мг/кг, Pb – 14,0–31,5 мг/кг. В бурозёме типичном и дерново-буро-подзолистой почве наблюдаются близкие значения Mn – 284,9–774,6 мг/кг, Fe – 12250–38010 мг/кг, Ni – 8,5–35,2 мг/кг, Cu – 9,0–35,0 мг/кг, Zn – 25,9–63,2 мг/кг, Pb – 2,3–29,7 мг/кг. В серогумусовой остаточно-карбонатной: Mn – 533,2–2110,0 мг/кг, Fe – 13650–34720 мг/кг, Ni – 19,7–30,8 мг/кг, Cu – 12,8–28,7 мг/кг, Zn – 26,4–43,1 мг/кг, Pb – 6,6–23,4 мг/кг. Полученные данные позволяют построить ряд по убыванию валового содержания элементов в автоморфных почвах Полистовского заповедника: Fe>Mn>Zn>Cu>Ni>Pb.

Изученные почвы характеризуются дифференциацией валового содержания химических элементов по профилю. Концентрации (Fe, Ni, Cu, Zn, Pb)_{вал} в бурозёме типичном, дерново-буро-подзолистой почве и ржавозёме типичном увеличиваются с глубиной, тогда как в серогумусовой остаточно-карбонатной почве, напротив, уменьшаются (см. табл. 2). Максимальные значения Mn_{вал} наблюдаются в горизонтах O и AY (см. табл. 2). Обеднение Mn характерно для опесчаненного горизонта AY ржавозёма типичного и гор. C'_{Ca}, C''_{Ca} серогумусовой остаточно-карбонатной почвы. Уменьшение содержания Mn вниз по профилю бурозёма типичного не столь резкое, как в профилях ржавозёма типичного и серогумусовой остаточно-карбонатной почвы (см. табл. 2).

Таблица 2 [Table 2]

**Валовое содержание и подвижные формы Mn, Fe, Ni, Cu, Zn и Pb
в автоморфных почвах Полистовского заповедника, мг/кг
[The content of total and mobile forms of Mn, Fe, Ni, Cu, Zn and Pb
in automorphic soils of Polistovsky Reserve (mg·kg⁻¹)**

Горизонт, см [Horizon, cm]	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb
Разрез 1. Бурозём типичный [Profile 1. <i>Eutric Cambisol</i>]						
O (0–2)	7,51/694,2	2,02/14700	0,36/8,5	0,27/10,3	0,96/33,0	0,54/6,9
AY (2–13)	6,48/725,6	3,47/17220	0,33/13,3	0,47/16,3	1,37/37,8	0,35/4,5
AB (13–21)	3,62/454,4	3,34/17360	0,10/10,2	0,11/9,4	1,64/37,7	0,32/3,9
BM (21–39)	1,28/328,4	2,09/31290	0,24/24,4	0,40/23,7	1,39/59,2	0,23/2,3
C (>39)	1,13/348,8	1,72/34860	0,30/33,0	0,27/28,1	3,47/63,2	0,45/11,7
Разрез 2. Бурозём типичный [Profile 2. <i>Eutric Cambisol</i>]						
O (0–1,5)	7,51/774,6	12,11/14980	0,34/8,8	0,11/9,0	0,69/35,9	1,00/9,4
AY (1,5–7)	5,11/328,2	8,59/12250	0,26/11,5	0,26/10,9	1,43/25,9	0,59/13,4
AB (7–25)	2,15/370,1	2,28/13650	0,22/19,4	0,22/17,7	0,82/27,2	1,04/12,8
BM (25–40)	1,57/414,2	3,66/25340	0,27/23,7	0,37/23,2	1,23/49,1	0,39/15,6
C (>40)	1,57/475,7	7,62/36680	0,25/31,2	0,41/35,0	0,86/58,8	0,71/14,3
Разрез 3. Дерново-буро-подзолистая типичная [Profile 3. <i>Haplic Luvisol</i>]						
AY (2–12)	1,79/361,9	10,79/14210	0,29/20,4	0,16/23,9	0,68/38,1	0,67/6,8
BEL (12–19)	2,14/398,3	4,56/14420	0,38/22,1	0,38/21,7	0,59/38,3	0,63/9,2

Окончание табл. 2 [Table 2 (end)]

Горизонт, см [Horizon, cm]	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb
BT (19–34)	1,70/406,6	5,87/18200	0,72/20,3	0,25/20,2	0,70/45,7	0,52/15,3
C (>34)	1,13/284,9	16,26/38010	0,86/35,2	0,33/33,1	0,74/55,2	0,51/29,7
Разрез 4. Ржавозём типичный [Profile 4. <i>Rubic Arenosol</i>]						
O (2–5)	58,73/4890,9	0,90/55090	0,42/38,8	0,11/15,7	1,12/62,9	1,45/16,9
A _{Yao} (5–12)	15,01/484,3	0,53/20720	0,29/15,3	0,23/17,2	0,55/30,1	0,90/14,0
BFM (12–33)	6,84/1326,9	8,13/28910	0,94/21,7	0,18/23,1	0,46/31,1	1,43/18,6
BC (33–53)	7,78/921,6	1,59/33810	0,44/27,7	0,11/29,9	1,00/50,4	0,30/20,0
C (>53)	5,33/1231,7	1,68/71820	0,91/57,7	0,22/61,4	1,36/63,3	1,23/31,5
Разрез 5. Серогумусовая остаточно-карбонатная [Profile 5. <i>Rendzic Leptosol</i>]						
A _Y (2–8)	10,85/2000,0	2,29/33250	1,48/30,8	1,00/28,7	4,31/43,1	1,45/23,4
AC' _{Ca} (8–14)	11,70/2110,0	0,94/34720	1,23/25,3	0,37/27,8	0,43/42,5	0,49/6,6
C' _{Ca} (14–34)	10,15/824,1	1,44/20720	1,83/19,7	1,29/12,8	1,32/40,2	0,64/16,6
C'' _{Ca} (>34)	5,78/533,2	2,79/13650	1,02/24,3	0,42/26,5	1,03/26,4	0,30/6,6

Примечание. Перед чертой – содержание подвижных форм, за чертой – валовое содержание.

[*Note.* Before the slash - The content of mobile forms, beyond the slash - The total content of elements].

Согласно рассчитанным значениям КК и КР (табл. 3) во всех исследованных почвах имеется тенденция к накоплению $Pb_{вал}$ и $Cu_{вал}$. В серогумусовой остаточно-карбонатной почве аккумулируется $Mn_{вал}$, что связано с низкой интенсивностью миграции данного элемента в щелочной среде. В ржавозёме типичном накапливается $Fe_{вал}$. Происходит рассеяние $Ni_{вал}$ и $Zn_{вал}$ в изучаемых почвах, $Fe_{вал}$ – в бурозёме типичном, серогумусовой остаточно-карбонатной и $Mn_{вал}$ – в бурозёме типичном.

Таблица 3 [Table 3]

**Ряды концентрации и рассеяния элементов в автоморфных почвах
Полистовского заповедника
[Consequences of elemental concentrations in automorphic soils of Polistovsky Reserve]**

Почва [Soil]	Кларки концентрации (КК) [Clarke's of concentration]	Кларки рассеяния (КР) [Clarke's of dispersion]
Бурозём типичный [<i>Cambisol Eutric</i>] и дерново-буро-подзолистая типичная [<i>Luvisol Haplic</i>]	$Pb_{1,0}Cu_{1,0}$	$Zn_{1,2}Fe_{1,8}Mn_{1,9}Ni_{2,0}$
Ржавозём типичный [<i>Arenosol Cambic</i>]	$Pb_{2,0}Cu_{1,5}Fe_{1,1}Mn_{1,1}$	$Zn_{1,1}Ni_{1,2}$
Серогумусовая остаточно-карбонатная [<i>Leptosol Rendzic</i>]	$Mn_{1,6}Pb_{1,3}Cu_{1,2}$	$Zn_{1,3}Fe_{1,5}Ni_{1,6}$

Подвижные формы Mn, Fe, Ni, Cu, Zn и Pb в почвах. Исследуемые автоморфные почвы характеризуются низким содержанием $Cu_{подв}$ и $Pb_{подв}$ и высо-

ким содержанием $Mn_{\text{подв}}$ (м. табл. 2). В буроземе типичном отмечаются минимальные содержания $Pb_{\text{подв}}$ в ржавозёме типичном – $Cu_{\text{подв}}$. В ржавозёме типичном величины $Mn_{\text{подв}}$ возрастают (5,33–58,73 мг/кг). Содержания $Cu_{\text{подв}}$ в серогумусовой остаточно-карбонатной выше по сравнению с изученными ржавозёмами и дерново-буро-подзолистыми почвами, что согласуется с данными других исследователей [28]. Содержание $Fe_{\text{подв}}$ в буроземах типичных выше, чем в ржавозёме типичном и серогумусовой остаточно-карбонатной почве. В целом подвижные формы элементов в почвах формируют ряд по убыванию содержаний: $Mn > Fe > Zn > Pb > Ni > Cu$.

Доля подвижных форм элементов от их валового содержания минимальна для Fe (0,002–0,08%), особенно в серогумусовой остаточно-карбонатной почве (0,003–0,02%); для Mn в среднем составляет 0,3–1,6%, для Ni, Cu, Zn и Pb – возрастает до 0,8–10,7%.

Во всех исследуемых почвах наблюдается аккумулятивный тип распределения $Mn_{\text{подв}}$, а именно уменьшение содержания с глубиной (табл. 2). Отмечается элювиально-иллювиальное распределение $Fe_{\text{подв}}$ в бурозёмах типичных, дерново-буро-подзолистой и серогумусовой остаточно-карбонатной почвах, выраженное в снижении содержания от горизонтов O и AY к срединным горизонтам с последующим увеличением в почвообразующей породе. В ржавозёме типичном повышенные значения $Fe_{\text{подв}}$ обнаружены в железисто-метаморфическом горизонте. Во всех почвах распределение (Ni, Cu, Zn)_{подв} от равномерного до выноса в нижние горизонты в кислой среде или песчаных горизонтах. Содержание $Pb_{\text{подв}}$ во всех почвах слабо уменьшается с глубиной.

Обсуждение результатов исследования

Более высокое валовое содержание рассматриваемых элементов наблюдается в дерново-буро-подзолистой почве, что объясняется особенностями состава почвообразующих пород. Во всех изученных почвах наблюдается положительная корреляция содержания Mn, обменных оснований и органического углерода. Профильная дифференциация содержания элементов наиболее выражена в опесчаненных почвах. Валовое содержание большинства элементов в нижних горизонтах бурозёмов типичных и дерново-буро-подзолистой почве выше по сравнению с верхними горизонтами, что согласуется с изменением гранулометрического состава. При этом повышенное валовое содержание большинства элементов в гор. O наблюдается в ржавозёме типичном. В серогумусовой остаточно-карбонатной почве содержание элементов уменьшается от верхних горизонтов к нижним. Для подвижных форм большинства элементов в исследуемых почвах установлено увеличение их содержания по профилю.

Для оценки взаимосвязи между физико-химическими свойствами почв и содержанием элементов рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена (табл. 4).

Таблица 4 [Table 4]

**Коэффициенты корреляции Спирмена между содержанием
Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb и почвенными свойствами
[Spearman's Rank Order Correlations between the content
of Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb and soil properties]**

Параметры [Parameters]		Подвижные формы [Mobile forms]						Валовое содержание [Total content]					
		Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb
Свойства [Properties]	Ил [Clay]	-0,8	0,3	-0,3	0,0	0,2	-0,1	-0,5	0,5	0,6	0,5	0,8	0,0
	Физ. глина [Physical clay]	-0,9	0,3	-0,4	0,1	0,3	-0,2	-0,5	0,4	0,4	0,4	0,7	0,0
	pH	0,5	-0,7	0,5	0,2	0,2	0,1	0,6	0,4	0,4	0,2	0,1	0,2
	ЕКО [CEC]	-0,1	0,3	0,0	-0,4	-0,4	0,5	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,4
	Обменные основания [Exchange- able bases]	0,1	0,0	0,2	-0,2	-0,2	0,6	0,2	0,5	0,3	0,3	0,3	0,6
	СНО [BS]	0,3	-0,4	0,8	0,4	0,0	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,5
	С _{орг} [C _{орг}]	0,5	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,3	0,1	-0,4	-0,6	-0,5	-0,5	-0,2
Под- вижные формы [Mobile forms]	Mn		-0,5	0,5	-0,1	-0,2	0,4	0,8	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	0,1
	Fe			-0,2	0,0	-0,2	0,0	-0,5	-0,3	0,0	-0,2	0,0	0,0
	Ni				0,3	-0,2	0,2	0,6	0,3	0,3	0,3	0,1	0,4
	Cu					0,3	-0,2	-0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	-0,1
	Zn						-0,2	-0,1	0,1	0,1	0,0	0,3	0,0
	Pb							0,4	0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,5
Валовое содер- жание [Total content]	Mn								0,3	0,2	0,0	0,1	0,3
	Fe									0,8	0,6	0,8	0,5
	Ni										0,8	0,8	0,5
	Cu											0,6	0,4
	Zn												0,4

Примечание. ЕКО – емкость катионного обмена, СНО – степень насыщенности основаниями. Полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия ($p < 0,05$).
[Note. CEC - Cation exchange capacity, BS - Base saturation. Statistically significant values are in bold ($p < 0.05$).

Содержание ила прямо коррелирует с содержанием $(Fe, Ni, Cu, Zn)_{вал}$, вместе с тем, наблюдается обратная зависимость с содержанием $Mn_{вал}$ и $Mn_{подв}$ (см. табл. 4). Увеличение доли физической глины приводит к увеличению $Zn_{вал}$ и уменьшению $Mn_{вал}$ и $Mn_{подв}$. Повышенные содержания $(Mn, Ni)_{подв}$ и $Mn_{вал}$ наблюдаются в щелочных условиях, например, в серогумусовой остаточно-карбонатной почве, тогда как $Fe_{подв}$ – в кислых почвах, таких как дерново-буро-подзолистая типичная. Важным фактором, определяющим интенсивность миграции элементов, является степень насыщенности основаниями [29]. При увеличении значений СНО возрастает концентрация $Ni_{подв}$ и $(Mn, Fe, Ni, Cu, Pb)_{вал}$. Установлена прямая связь между содержанием органического углерода и $Mn_{подв}$, обратная связь – с $(Ni, Cu, Zn)_{вал}$. Содержания подвижных форм и валовое содержание некоторых элементов тесно связаны между собой (см. табл. 4). Отмечается тесная положительная связь между $(Ni, Cu, Zn, Pb)_{вал}$ с $Fe_{вал}$.

Вариации величин КК Pb (1,0–2,0), Cu (1,0–1,5) и КР Zn (1,1–1,3), Ni (1,2–2,0) в автоморфных почвах Полистовского заповедника связаны с разнообразием почвообразующих пород и особенностями их химического состава. Полученные результаты согласуются с данными других исследователей [30–32] для схожих условий в районах распространения моренных и водно-ледниковых отложений. Значения КР также различаются в исследуемых почвах: Fe_вал в бурозёме типичном (1,8) и серогумусовой остаточно-карбонатной почве (1,5), Mn_вал в бурозёме типичном (1,9).

Выводы

Исследованы автоморфные почвы Полистовского заповедника, сформированные на различных по физическим свойствам и химическому составу моренных отложениях: бурозёмы типичные, дерново-буро-подзолистые, серогумусовые остаточно-карбонатные и ржавозёмы типичные. Установлено, что литологическая неоднородность почвообразующих пород определяет уровни содержания Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb в изучаемых почвах.

Валовое содержание Fe, Ni и Pb выше в ржавозёме типичном (42900; 32,2 и 20,2 мг/кг соответственно) по сравнению с бурозёмом типичным (21700, 18,4 и 9,5 мг/кг соответственно) и серогумусовой остаточно-карбонатной почвой (25600; 25,0 и 13,3 мг/кг соответственно). По профилю дерново-буро-подзолистой почвы и ржавозёма типичного валовое содержание элементов увеличивается, а в серогумусовой остаточно-карбонатной – уменьшается, находясь в прямой зависимости от содержания физической глины в почве. Валовое содержание Mn во всех почвах снижается вниз по профилю, прямо пропорционально уменьшению содержания гумуса. Установлен ряд по уменьшению валового содержания элементов в автоморфных почвах: Fe>Mn>Zn>Ni>Cu>Pb.

Доля подвижных форм относительно валовой концентрации минимальна для Fe (0,002–0,08%), особенно в серогумусовой остаточно-карбонатной почве (0,003–0,02%), для остальных элементов она составляет от 0,3 до 10,7%. Установлен ряд содержаний подвижных форм элементов в автоморфных почвах: Mn>Fe>Zn>Pb>Ni>Cu.

Отмечается увеличение валового содержания Fe, Ni, Cu и Zn с возрастанием доли илестых частиц в почве. Аккумуляция Mn характерна для опесчаненных горизонтов с высоким содержанием гумуса. Высокие значения pH приводят к накоплению подвижных форм Ni и Mn, повышению валового содержания Mn, а низкие – к накоплению подвижных форм Fe. В органогенных горизонтах изученных почв наблюдаются максимальные содержания подвижных форм Mn, Fe, Ni и Pb, тогда как в нижних минеральных горизонтах (кроме дерновой остаточно-карбонатной) выявлены повышенные валовые содержания Fe, Ni, Cu, Zn и Pb. Установлена тесная корреляция между валовым содержанием Fe и Ni, Cu, Zn, Pb.

Литература

1. Герасимова М.И., Богданова М.Д., Никитин Е.Д. Географо-генетические аспекты Красной книги почв России // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2014. № 2. С. 3–8.
2. Mazurek R., Kowalska J.B., Gąsiorek M., Zadrożny P., Wiczorek J. Pollution indices as comprehensive tools for evaluation of the accumulation and provenance of potentially toxic elements in soils in Ojców National Park // Journal of Geochemical Exploration. 2019. Vol. 201. PP. 13–30. doi: [10.1016/j.gexplo.2019.03.001](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.03.001).
3. Timofeeva Y.O., Kosheleva Y., Semal V., Burdukovskii M. Origin, baseline contents, and vertical distribution of selected trace lithophile elements in soils from nature reserves, Russian Far East // Journal of Soils and Sediments. 2018. Vol. 18, № 3. PP. 968–982. doi: [10.1007/s11368-017-1847-5](https://doi.org/10.1007/s11368-017-1847-5).
4. Зонн С.В. Общие географические предпосылки // Буроземообразование и псевдоподзоливание в почвах Русской равнины / под ред. С.В. Зонна. М. : Наука, 1974. С. 82–83.
5. Федоренко Н.Г., Бахмет О.Н. Особенности формирования почв и почвенного покрова Карело-Кольского региона // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 12. С. 39–51. doi: [10.17076/eco358](https://doi.org/10.17076/eco358).
6. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Чирков Ф.В., Филькин Т.Г. Дерново-карбонатные почвы Пермского края как объекты особой охраны // Фундаментальные исследования. 2008. № 7. С. 72–73.
8. Абакумов Е.В., Гагарина Э.И., Исакадзе А.С. Эволюционно-генетические аспекты почвообразования в горной части Жигулевского заповедника // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Специальный выпуск: Актуальные проблемы экологии. 2004. № 3. С. 57–71.
9. Самофалова И.А., Рогова О.Б., Лузянина О.А., Савичев А.Т. Геохимические особенности распределения макроэлементов в почвах ненарушенных ландшафтов Среднего Урала (на примере заповедника «Басеги») // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2016. № 85. С. 56–76. doi: [10.19047/0136-1694-2016-85-57-76](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-57-76).
10. Федоров Ю.А., Минкина Т.М., Шипкова Г.В. Тяжелые металлы в ландшафтах верховых болот Псковской области // География и природные ресурсы. 2017. № 2. С. 46–55. doi: [10.21782/GiPR0206-1619-2017-2\(46-55\)](https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2017-2(46-55)).
11. Shipkova G.V., Minkina T.M., Fedorov Yu.A., Goncharova L.Yu., Sherstnev A.K., Mandzheva S.S. Accumulation and distribution features of micro- and macroelements in Luvisols of plain and mountainous regions // Journal of Geochemical Exploration. 2018. Vol. 184, Pt B. PP. 394–399. doi: [10.1016/j.gexplo.2016.09.004](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.09.004).
12. Шипкова Г.В., Минкина Т.М., Федоров Ю.А. Особенности накопления тяжелых металлов в почвах и растениях ландшафтов верховых болот Псковской области // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах : материалы II Международной школы-семинара молодых исследователей, посвященной памяти профессора В.Б. Ильина (Тюмень, 16–20 мая 2016 г.) / под ред. В.А. Боева, А.И. Сысо, В.Ю. Хорошавина. Тюмень : Издательство Тюменского государственного университета, 2016. С. 315–318.
13. Водяницкий Ю.Н. Соединения железа и их роль в охране почв. М. : ГНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии», 2010. 155 с.
14. Alloway B.J. Heavy Metals and Metalloids as Micronutrients for Plants and Animals // Heavy Metals in Soils. Environmental Pollution, vol 22. / B.J. Alloway (ed.) Dordrecht: Springer, 2013. PP. 195–209. doi: [10.1007/978-94-007-4470-7_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_7).

15. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. № 3. С. 368–375.
16. Swartjes F.A., Rutgers M., Lijzen J.P.A., Janssen P.J.C.M., Otte P.F., Wintersen A., Brand E., Posthuma L. State of the art of contaminated site management in The Netherlands: Policy framework and risk assessment tools // Science of The Total Environment. 2012. Vol. 427–248. PP. 1–10. doi: [10.1016/j.scitotenv.2012.02.078](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.078).
17. Antoniadis V., Shaheen S.M., Levizou E., Shahid M., Niazi N.K., Vithanage M., Ok Y.S., Bolan N., Rinklebe J. A critical prospective analysis of the potential toxicity of trace element regulation limits in soils worldwide: Are they protective concerning health risk assessment? - A review // Environment International. 2019. Vol. 127. PP. 819–847. doi: [10.1016/j.envint.2019.03.039](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.039).
18. IUSS Working Group WRB. World Reference Base of Soil Resources 2014, update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome : FAO, 2015. 192 p.
19. Katschinski N.A. Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Boden nach ihrer mechanischen Zusammensetzung // Rapports au Sixieme Congres International de la Science du Sol. Vol. B. Paris : Laboureur et Cie, 1956. pp. 321–327. URL: https://iuss.boku.ac.at/files/vi_e_congres_international_de_la_science_du_sol_volume_b_paris_1956_compressed.pdf (дата обращения: 26.04.2019).
20. Soil Survey Laboratory Information Manual. Soil Survey Investigations Report No. 45, Version 2.0 / Burt R. (ed.). Lincoln : U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2011. 506 p.
21. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л.А. Воробьевой. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.
22. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М. : Изд-во Академии наук СССР, 1957. 237 с.
23. Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment // Journal of Geochemical Exploration. 2014. Vol. 144, Pt B. PP. 241–246. doi: [10.1016/j.gexplo.2014.01.026](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.01.026).
24. de Sá J.P.M. Applied Statistics Using SPSS, STATISTICA, MATLAB and R. Second Edition. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2007. 505 p. doi: [10.1007/978-3-540-71972-4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-71972-4).
25. Kacprzak A., Derkowski A. Cambisols developed from cover-beds in the Pieniny Mts. (southern Poland) and their mineral composition // CATENA. 2007. Vol. 71, № 2. PP. 292–297. doi: [10.1016/j.catena.2007.01.004](https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.01.004).
26. Даниловский И.В. Геологическое строение бассейна р. Ловать в пределах 27-го листа 10-верстной геологической карты // Труды Главного геологоразведочного управления ВСХ СССР. 1931. Вып. 125. С. 49–56.
27. Латышева Л.А. Влияние антропогенной трансформации лесной растительности на динамику содержания и состава гумуса в буроземах островных территорий юга Приморья // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2014. № 2 (26). С. 23–32. doi: [10.17223/19988591/26/2](https://doi.org/10.17223/19988591/26/2).
28. Wójcikowska-Kapusta A., Niemczuk B. Copper speciation in different-type soil profiles // Journal of Elementology. 2009. Vol. 14, № 4. PP. 815–824. doi: [10.5601/jelem.2009.14.4.815-824](https://doi.org/10.5601/jelem.2009.14.4.815-824).
29. Lafuente A.L., González C., Quintana J.R., Vázquez A., Romero A. Mobility of heavy metals in poorly developed carbonate soils in the Mediterranean region // Geoderma. 2008. Vol. 145, № 3–4. PP. 238–244. doi: [10.1016/j.geoderma.2008.03.012](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.03.012).
30. Гагарина Э.И., Соколова Т.А., Сухачева Е.Ю. Глинистые минералы в слабоподзоленных почвах абрадированных моренных равнин Северо-Запада России // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2014. № 4. С. 3–12.

31. 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. Vol. 66, № 4. PP. 198–203. doi: [10.1515/ssa-2015-0037](https://doi.org/10.1515/ssa-2015-0037).
32. Świtoniak 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. Vol. 137. PP. 583–595. doi: [10.1016/j.catena.2014.09.005](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.09.005).

Поступила в редакцию 22.06.2017 г.; повторно 11.05.2018 г. и 23.05.2019 г.;
принята 29.05.2019 г.; опубликована 27.06.2019 г.

Авторский коллектив:

Нестерук (Шипкова) Галина Владимировна – н.с. лаборатории палеогеографии, отдел Океанологии и географии, Южный научный центр РАН (Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41).
ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2473-8806>

E-mail: galina_shipkova@mail.ru

Минкина Татьяна Михайловна – д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой почвоведения и оценки земельных ресурсов, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет (Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая 105).

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2473-8806>

E-mail: tminkina@mail.ru

Федоров Юрий Александрович – д-р геогр. наук, профессор, зав. кафедрой физической географии, экологии и охраны природы, Институт наук о Земле, Южный федеральный университет (Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая 105).

E-mail: fed29@mail.ru

Невидомская Дина Георгиевна – канд. биол. наук, в.н.с. кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет (Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая 105).

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-0138-4443>

E-mail: dnevidomskaya@mail.ru

Сушкова Светлана Николаевна – канд. биол. наук, с.н.с., НИИ биологии, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет (Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая 105).

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-3470-9627>

E-mail: terra_rossa@mail.ru

Константинова Елизавета Юрьевна – аспирант кафедры геоэкологии, Институт наук о Земле, Тюменский государственный университет (625002, г. Тюмень, ул. Осипенко, 2).

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-9836-8721>

E-mail: konstantliza@gmail.com

For citation: Nesteruk (Shipkova) GV, Minkina TM, Fedorov YuA, Nevidomskaya DG, Sushkova SN, Konstantinova EYu. The content and distribution of Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, and Pb in automorphic soils of Polistovsky Reserve. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2019;46:6-25. doi: [10.17223/19988591/46/1](https://doi.org/10.17223/19988591/46/1). In Russian, English Summary

**Galina V. Nesteruk (Shipkova)¹, Tatiana M. Minkina², Yuriy A. Fedorov²,
Dina G. Nevidomskaya², Svetlana N. Sushkova², Elizaveta Yu. Konstantinova³**

¹ Southern Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation

² Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

³ University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

The content and distribution of Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, and Pb in automorphic soils of Polistovsky Reserve

The intensive human impact on the environment leads to a significant change in the components of landscapes, in general, as well as the soil cover in particular. Currently, areas with undisturbed soils are mainly preserved within specially protected natural areas. The characteristics of reference soils serve as a starting point for environmental monitoring. One of these objects is Polistovsky Reserve in Pskov region, created to protect the upper marshes. On the territory of the reserve among the wetlands, unique landscapes are present, i.e. mineral islands, formed by postglacial morainic deposits, not buried under a layer of peat, on which soils, that are unusual for the given terrain, developed under mixed forests. Automorphic soils, formed within the boundaries of these isolated formations, remain poorly understood. The relevance of the presented research is due to the importance of mineral island soils as one of the key components of the natural systems of the Polistovo-Lovatsky bog massif. Data on the composition and properties of autonomous soils can be used in the planning of environmental protection measures, as well as to predict their stability in the intensification of anthropogenic impact. The aim of this research is to identify accumulation and distribution of total content and mobile forms of Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, and Pb in various types of automorphic soils in Polistovsky State Nature Reserve.

The automorphic soils of Polistovsky Reserve (57°10'N, 30°30'E), formed within the mineral islands, were investigated: *Eutric Cambisol*, *Haplic Luvisol*, *Rendzic Leptosol* and *Rubic Arenosol* (See Fig. 1). We studied soils using profile and genetic methods based on the Classification and Diagnostics of Russian Soils (Shishov LL et al., 2004). International names are given according to the World Reference Base of Soil Resources, version 2015 (IUSS Working Group WRB, 2015). The following soil properties were determined: particle size fractions by pipet analysis (Katschinski NA, 1956, Burt R, 2011), organic carbon content by bichromate oxidation method according to IV Tyurin, exchangeable bases by complexometric method, cation exchange capacity by ammonium acetate method, KCl pH and pH of aqueous suspension by potentiometric method (Vorobeva LA, 2006; Burt R, 2011). The total content of Mn, Fe, Ni, Cu, Zn and Pb was determined by X-ray fluorescence analysis using a spectrometer Spectroscan MAX-GV "Spectron" (Russia), and the content of mobile forms extracted from the soil by ammonium acetate buffer (Motuzova GV et al., 2014) was determined by atomic absorption using a spectrometer NOVAA300 "Analytik Jena" (Germany). Clarkes of concentration and Clarkes of dispersion of elements in the studied soils were calculated relative to the clarkes of elements in the soils according to AP Vinogradov (1957). A correlation analysis was carried out to evaluate the relationship between the physical and chemical properties of soils and the content of elements with the calculation of Spearman's rank order correlation coefficient.

In this research, we found out that the lithological heterogeneity of the soil-forming rocks of mineral islands leads to a significant differentiation of soils both by morphological features and by physicochemical properties. *Eutric Cambisols* form on moraine loams on the slopes under oak forests with thin grass cover, while *Haplic*

Luvissols are characteristic of spruce forests. *Rubic Arenosols* are common in binomial deposits under a mixed birch and spruce forest. *Rendzic Leptosols* are confined to sandy sediments. The considered soils are quite different in a range of parameters (See Table 1). The typical differentiation of the profile according to the content of physical clay is characteristic of *Eutric Cambisols* and *Haplic Luvissols*. In terms of pH values, *Eutric Cambisols* and *Haplic Luvissols* are defined as acidic soils, *Rubic Arenosols* are slightly acidic or neutral, and *Rendzic Leptosols* are slightly or moderately alkaline. The organic carbon content in the horizon AY of *Rendzic Leptosols* is 2 times lower, while in *Eutric Cambisols* and *Haplic Luvissols* it is 4-7 times lower than in *Rubic Arenosols*. The studied soils are differentiated by the content and profile distribution of elements (See Table 2). With the depths, the total content of elements in *Haplic Luvissols* and *Rubic Arenosol* increases, while in *Rendzic Leptosol* it decreases. It was established that the total content of elements in automorphic soils was reduced in the following order: Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Pb. The proportion of mobile forms relative to the total content was minimal for Fe (0.002-0.08%), especially in *Rendzic Leptosols* (0.003-0.02%), for other elements it varied from 0.3 to 10.7%. The total content of Ni, Pb and Fe is higher in *Rubic Arenosols* than in a *Haplic Luvissols* and *Rendzic Leptosols* (See Table 3). The chemical composition and physical properties of moraine deposits determine the conditions for migration and accumulation of elements (See Table 4). An increase in the total content of Ni, Cu, Zn, and Fe is linked with an increase in the proportion of silty particles in the soils; their maximum values are noted in the lower horizons of the soil. Mn accumulation was observed in sandy horizons with high humus content. High pH values lead to accumulation of mobile forms of Ni and Mn, while low values lead to accumulation of mobile forms of Fe. Mobile forms of Mn, Fe, Ni and Pb are accumulated in the organogenic horizons. It was revealed that Fe and Mn in the soils of the considered landscapes were typomorphic elements whose content significantly influences the behavior of Ni, Cu, Zn and Pb. The results show that the soils of autonomous positions, even despite the limited distribution area within Polistovsky Reserve, demonstrated significant diversity. Differences in the composition and properties of rocks affect soil properties, the severity of soil-forming processes, and the contrast of geochemical differentiation of the profile, which should be taken into account when planning environmental monitoring of both the lands protected and affected by human activity in the territory under consideration.

The paper contains 1 Figure, 4 Tables and 32 References.

Key words: trace elements; elemental composition; *Eutric Cambisol*; *Haplic Luvisol*; *Rubic Arenosol*; *Rendzic Leptosol*.

Funding: This research was carried out within the state task of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences for 2019 (Project No 01201363186), and with the support of the Project No MK-2973.2019.4.

References

1. Gerasimova MI, Bogdanova MD, Nikitin ED. Geographic and pedogenetic aspects of the *Red Book of Russian Soils*. *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2014;2:3-8. doi: [10.3103/S0147687414020045](https://doi.org/10.3103/S0147687414020045)
2. Mazurek R, Kowalska JB, Gąsiorek M, Zadrożny P, Wiczorek J. Pollution indices as comprehensive tools for evaluation of the accumulation and provenance of potentially toxic elements in soils in Ojców National Park. *J Geochemical Exploration*. 2019;201:13-30. doi: [10.1016/j.gexplo.2019.03.001](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.03.001)
3. Timofeeva YO, Kosheleva Y, Semal V, Burdukovskii M. Origin, baseline contents, and vertical distribution of selected trace lithophile elements in soils from nature reserves,

- Russian Far East. *J Soils and Sediments*. 2018;18(3):968-982. doi: [10.1007/s11368-017-1847-5](https://doi.org/10.1007/s11368-017-1847-5)
4. Zonn SV. General geographical background. In: *Burozem formation and pseudopodzolization in the soils of the Russian Plain*. Zonn SV, editor. Moscow: Nauka Publ.; 1974. pp. 82-83. In Russian
 5. Fedorets NG, Bakhmet ON. Soil and soilcover formation peculiarities of Karelian – Kola region. *Transactions of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2016;12:39-51. doi: [10.17076/eco358](https://doi.org/10.17076/eco358). In Russian
 6. Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, Gerasimova MI. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Russian Soil Classification System]. Smolensk: Oykumena Publ.; 2004. 342 p. In Russian
 7. Eremchenko OZ, Shestakov IE, Chirkov FV, Fil'kin TG. Dernovo-karbonatnye pochvy Permskogo kraja kak ob'ekty osoboy okhrany [Sod-carbonate soils of Permsky Krai as objects of special protection]. *Fundamental Research*. 2008;7:72-73. In Russian
 8. Abakumov EV, Gagarina EI, Isakadze AS. Evolyutsionno-geneticheskie aspekty pochvoobrazovaniya v gornoy chasti Zhigulevskogo zapovednika [Evolutionary and genetic aspects of soil formation in the mountainous part of the Zhigulevsky Reserve]. *Izvestiya Samarского nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Spetsial'nyy vypusk: Aktual'nye problemy ekologii*. 2004;6(3):57-71. In Russian
 9. Samofalova IA, Rogova OB, Luzyanina OA, Savichev AT. 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;85:56-76. doi: [10.19047/0136-1694-2016-85-57-76](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-57-76). In Russian, English Summary
 10. Fedorov YuA, Minkina TM, Shipkova GV. Heavy metals in landscapes of raised bogs in Pskov oblast. *Geography and Natural Resources*. 2017;2:46-55. doi: [10.21782/GiPR0206-1619-2017-2\(46-55\)](https://doi.org/10.21782/GiPR0206-1619-2017-2(46-55)). In Russian, English Summary
 11. Shipkova GV, Minkina TM, Fedorov YuA, Goncharova LYu, Sherstnev AK, Mandzhieva SS. Accumulation and distribution features of micro- and macroelements in luvisols of plain and mountainous regions. *J Geochemical Exploration*. 2018;184(B):394-399. doi: [10.1016/j.gexplo.2016.09.004](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.09.004)
 12. Shipkova GV, Minkina TM, Fedorov YuA. Osobennosti nakopleniya tyazhelykh metallov v pochvakh i rasteniyakh landshaftov verkhovykh bolot Pskovskoy oblasti [Features of heavy metal accumulation in soils and plants in the landscapes of the upper marshes of Pskov region] In: *Biogeokhimiya khimicheskikh elementov i soedineniy v prirodnykh sredakh*. Materialy II Mezhdunarodnoy shkoly-seminara molodykh issledovatelye [Biogeochemistry of chemical elements and compounds in natural media. Proc. of the II International School-Seminar of Young Researchers (Tyumen, Russia, 16-20 May, 2016)]. Tyumen: Tyumen State University Publ.; 2016. pp. 315-318. In Russian
 13. Vodyanitskii YuN. Soedineniya zheleza i ikh rol' v okhrane pochv [Iron compounds and their role in soil conservation]. Moscow: VV Dokuchaev Soil Science Institute Publ.; 2010. 155 p. In Russian
 14. Alloway BJ. Heavy metals and metalloids as micronutrients for plants and animals. In: *Heavy Metals in Soils*. Environmental Pollution. Vol 22. Alloway BJ, editor. Dordrecht: Springer Publ.; 2013. pp. 195-209. doi: [10.1007/978-94-007-4470-7_7](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_7)
 15. Vodyanitskii YuN. Standards for the contents of heavy metals and metalloids in soils. *Eurasian Soil Science*. 2012;45(3):321-328. doi: [10.1134/S1064229312030131](https://doi.org/10.1134/S1064229312030131)
 16. Swartjes FA, Rutgers M, Lijzen JPA, Janssen PJCM, Otte PF, Wintersen A, Brand E, Posthuma L. State of the art of contaminated site management in The Netherlands: Policy framework and risk assessment tools. *Science of the Total Environment*. 2012;427-248:1-10. doi: [10.1016/j.scitotenv.2012.02.078](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.078)

17. Antoniadis V, Shaheen SM, Levizou E, Shahid M, Niazi NK, Vithanage M, Ok YS, Bolan N, Rinklebe J. A critical prospective analysis of the potential toxicity of trace element regulation limits in soils worldwide: Are they protective concerning health risk assessment? - A review. *Environment International*. 2019;127:819-847. doi: [10.1016/j.envint.2019.03.039](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.039)
18. *IUSS Working Group WRB. World Reference Base of Soil Resources 2014, update 2015. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. World Soil Resources Reports No. 106. Rome: FAO; 2015. 192 p.*
19. Katschinski NA. Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Boden nach ihrer mechanischen Zusammensetzung [Mechanical analysis of soil and its classification based on mechanical composition]. In: *Rapports au Sixieme Congres International de la Science du Sol*. Vol. B. Paris: Laboureur et Cie Publ.; 1956. pp. 321–327. Available at: https://iuss.boku.ac.at/files/vi_e_congres_international_de_la_science_du_sol_volume_b__paris_1956_compressed.pdf (accessed: 26.04.2019). In German, English Summary
20. *Soil Survey Laboratory Information Manual. Soil Survey Investigations Report No. 45, Version 2.0. Burt R, editor. Lincoln: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service Publ.; 2011. 506 p.*
21. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of soils chemical analysis]. Vorob'eva LA, editor. Moscow: GEOS Publ.; 2006. 400 p. In Russian
22. Vinogradov AP. Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh [Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils]. Moscow: Akademii nauk SSSR Publ.; 1957. 237 p. In Russian
23. Motuzova GV, Minkina TM, Karpova EA, Barsova NU, Mandzhieva SS. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment. *J Geochemical Exploration*. 2014;144(B):241-246. doi: [10.1016/j.gexplo.2014.01.026](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.01.026)
24. de Sá JPM. Applied Statistics Using SPSS, STATISTICA, MATLAB and R. Second Edition. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2007. 505 p. doi: [10.1007/978-3-540-71972-4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-71972-4)
25. Kacprzak A., Derkowski A. Cambisols developed from cover-beds in the Pieniny Mts. (southern Poland) and their mineral composition. *CATENA*. 2007;71(2):292-297. doi: [10.1016/j.catena.2007.01.004](https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.01.004)
26. Danilovskiy IV. Geologicheskoe stroenie basseyna r. Lovat' v predelakh 27-go lista 10-verstnoy geologicheskoy karty [Geological structure of the Lovat' river basin within the limits of the 27th sheet of the 10-verst geological map]. *Trudy Glavnogo geologorazvedochnogo upravleniya VSNKh SSSR*. 1931;125:49-56. In Russian
27. Latysheva LA. Influence of forest vegetation anthropogenic transformation on dynamics of humus content and composition in burozems of the island territory in the southern part of Primorskii Krai (Russia). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2014;2(26):23-32. doi: [10.17223/19988591/26/2](https://doi.org/10.17223/19988591/26/2). In Russian, English Summary
28. Wójcikowska-Kapusta A, Niemczuk B. Copper speciation in different-type soil profiles. *J Elementology*. 2009;14(4):815-824. doi: [10.5601/jelem.2009.14.4.815-824](https://doi.org/10.5601/jelem.2009.14.4.815-824).
29. Lafuente AL, González C, Quintana JR, Vázquez A, Romero A. Mobility of heavy metals in poorly developed carbonate soils in the Mediterranean region. *Geoderma*. 2008;145(3-4):238-244. doi: [10.1016/j.geoderma.2008.03.012](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.03.012)
30. Gagarina EI, Sokolova TA, Sukhatcheva EYu. Clay minerals in weakly podzolised soils of abraded moraine plains in northwestern Russia. *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2014;69(4):147-155. doi: [10.3103/S0147687414040048](https://doi.org/10.3103/S0147687414040048)
31. Chojnicki J, Kwasowski W, Piotrowski M, Oktaba L, Kondras M. Trace elements in arable Cambisols and Luvisols developed from boulder loam and fluvio-glacial sands of the Skierniewicka Upland (central Poland). *Soil Science Annual*. 2015;66(4):198-203. doi: [10.1515/ssa-2015-0037](https://doi.org/10.1515/ssa-2015-0037)

32. Świtoniak 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;137:583-595. doi: [10.1016/j.catena.2014.09.005](https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.09.005)

Received 22 June 2017; Revised 11 May 2018 and 23 May 2019;

Accepted 29 May 2019; Published 27 June 2019

Author info:

Nesteruk (Shipkova) Galina V, Researcher, Laboratory of Paleogeography, Department of Oceanology and Geography, Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 41 Chehova Ave., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation.

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-2473-8806>

E-mail: galina_shipkova@mail.ru

Minkina Tatiana M, Dr. Sci. (Biol.), Professor, Head of the Department of Soil Science and Land Resources Assessment, DI Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, 105 Bolshaya Sadovaya Str., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation.

E-mail: tminkina@mail.ru

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-3022-0883>

Fedorov Yuriy A, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Head of the Department of Physical Geography, Ecology and Nature Conservation, Institute of Earth Sciences, Southern Federal University, 105 Bolshaya Sadovaya Str., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation.

E-mail: fed29@mail.ru

Nevidomskaya Dina G, Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher, Department of Soil Science and Land Resources Assessment, DI Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, 105 Bolshaya Sadovaya Str., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation.

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-0138-4443>

E-mail: dnevidomskaya@mail.ru

Sushkova Svetlana N, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Research Institute of Biology, DI Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology, Southern Federal University, 105 Bolshaya Sadovaya Str., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation.

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-3470-9627>

E-mail: terra_rossa@mail.ru

Konstantinova Elizaveta Yu, Postgraduate, Department of Geoecology, Institute of Earth Sciences, University of Tyumen, 2 Osipenko Str., Tyumen 625002, Russian Federation.

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0002-9836-8721>

E-mail: konstantliza@gmail.com