

Распределение подвижных форм тяжелых металлов в горизонтах почв южной тайги (Тюменская область)

А. П. Колобов[✉]

Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения Российской академии наук,
Российская Федерация
(626152, г. Тобольск, ул. имени академика Юрия Осипова, 15)

Аннотация. Цель – оценка распределения содержания подвижных форм тяжелых металлов (Ni, Cu, Zn, Co, Cr, Mn, Cd, Pb) в генетических горизонтах таёжных почв Кондинской низменности в пределах Тобольского района Тюменской области.

Материалы и методы. Исследуемая территория почв расположена вблизи населённых пунктов левобережья рек Иртыша и Тобола и их притоков – рек Шальца, Ерек, Тайма и Суклёмка. Выделение подвижных форм тяжёлых металлов из почвы осуществлено ацетатно-аммонийным буферным раствором, с последующим определением их концентраций атомно-абсорбционным методом.

Результаты и обсуждение. Максимальные концентрации подвижных форм Mn и Cd определены с увеличением доли песчаных частиц в гранулометрическом составе исследуемых почв.

Выводы. Варьирование концентраций подвижных форм исследуемых элементов связано с гранулометрическим составом и pH среды в разных типах почв.

Ключевые слова: Иртыш, Тобол, почва, гранулометрический состав, тяжёлые металлы, подвижные формы.

Источник финансирования: Работа выполнена в рамках фундаментальных научных исследований по теме: «Эколого-геохимические преобразования почв экосистем Обь-Иртышского бассейна под воздействием природных и техногенных факторов» (Регистрационный номер НИОКР: 1024023000029-9-1.5.4).

Благодарность: Автор выражает глубокую благодарность к.б.н. Кайгородову Р. В. за методическую помощь в описании морфологических особенностей горизонтов и классификации исследуемых типов и подтипов почв.

Для цитирования: Колобов А. П. Распределение подвижных форм тяжелых металлов в горизонтах почв южной тайги (Тюменская область) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025, № 2, с. 142-148. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/2/142-148>

ВВЕДЕНИЕ

Тяжёлые металлы относятся к основным загрязняющим почву элементам. Изучение уровня концентраций металлов в почвах на локальных территориях даёт представление о содержании элементов в целом по Западно-Сибирскому региону [6, 11, 12, 13].

По почвенно-экологическому районированию Тобольский район Тюменской области относится к Бореальному географическому поясу, Европейско-Западно-Сибирской таёжно-лесной почвенно-биоклиматической области, зоны дерново-подзолистых почв южной тайги [3].

Среднее валовое содержание элементов – Cu, Zn, Co, Ni, Cr, Mn в почвах Тобольского материка, выявленное в работах [2, 5, 13], не превышает среднего фона в почвах Западно-Сибирского региона [8, 12]. Валовые концентрации Pb в почвах нижнего течения р. Иртыш, обусловленные его миграцией и аккумуляцией в гумусовом горизонте, выше среднего фона [7, 13]. Наибольшую опасность представляют свободно мигрирующие по трофическим цепям подвижные формы металлов. Mn является индикатором биогеохимических циклов в

таёжных почвах; Ni, Cu, Zn, Co, Cr представляют собой важнейшие микроэлементы, Cd с Pb относятся к загрязняющим почвы веществам первого класса опасности [14]. Их содержание может служить индикатором состояния природной среды на конкретной локальной территории почв [9].

В данной работе исследованы закономерности распределения подвижных форм элементов (Ni, Cu, Zn, Co, Cr, Mn, Cd, Pb) в профилях почв Кондинской низменности в границах Тобольского района.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Определение pH солевой вытяжки проб почв выполнено по ГОСТ 26483-85. Гранулометрический анализ почвы произведен полевым методом Рутковского с использованием треугольника Ферре Международной классификации WRB [15]. Классификация почв проведена согласно «Классификации и диагностике почв России» [4]. Содержание подвижных форм металлов проведено в соответствии с ПНД Ф 16.1:2:2.2:2.3.78-2013 на атомно-абсорбционном спектрометре ContrAA 300. Статистический анализ проведен в программе StatSoft Statistica 12.



Рис. 1. Участки отбора проб почв на территории Кондинской низменности (Тобольский район)
[Fig. 1. Location of sampling sites in the territory of Kondinsky lowland (Tobolsk district)]

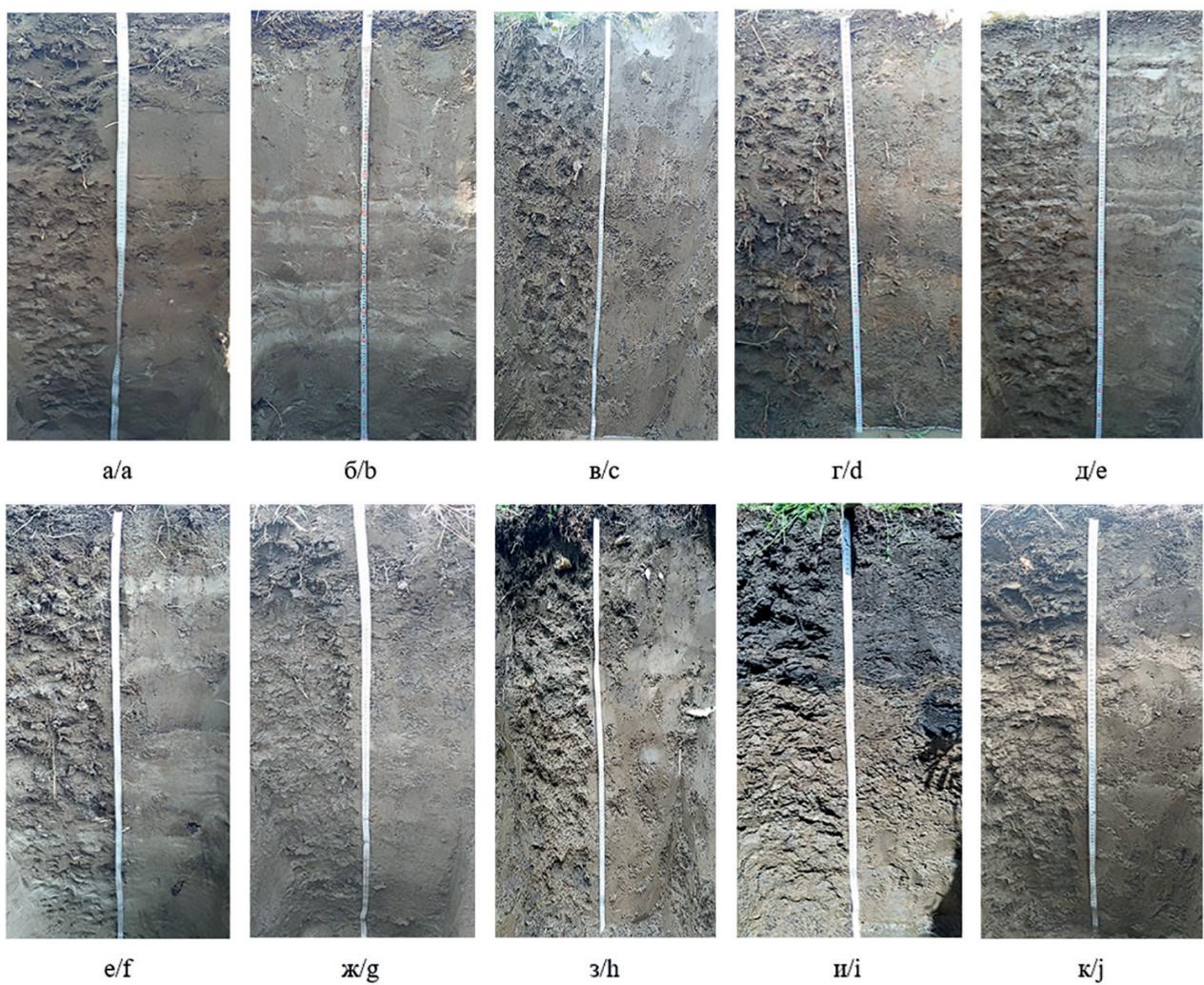


Рис. 2. Фотографии изученных почвенных разрезов (а – агротёмно-серая глееватая,
б – аллювиальная серогумусовая глеевая, в – аллювиальная серогумусовая гидрометаморфическая,
г – аллювиальная серогумусовая глеевая со вторым гумусовым горизонтом, д – серая типичная, е – серая глееватая,
ж – аллювиальная тёмногумусовая гидрометаморфическая типичная, з – серая типичная,
и – тёмно-серая глеевая типичная, к – дерново-подзол иллювиально-железистый)
[Fig. 2. Photos of the studied soil profiles (a – agrodark-grey gleyic, b – alluvials greyhumic gley,
c – alluvials greyhumic hydrometamorphic, d – alluvials greyhumic gley with the second humic horizon, e – typical grey,
f – grey gleyic, g – typical alluvials dark-grey hydrometamorphic, h – typical grey, i – typical dark-grey gley,
j – sod-podzols illuvial-ferruginous)]

Содержание подвижных форм элементов в генетических горизонтах почв, мг/кг
 [Table 1. Content of mobile forms of elements in genetic horizons of soil (mg·kg⁻¹)]

Горизонт, см / Horizon, cm	Cu	Pb	Cr	Co	Ni	Mn	Zn	Cd
Разрез 1. Агротёмно-серая глееватая								
PU, 0-25	0,21	0,06	0,02	0,01	0,12	8,74	1,32	0,01
BELg, 25-78	0,29	0,07	0,03	0,05	0,24	16,49	0,57	0,01
BTg, 78-170	0,39	0,07	0,05	0,12	0,45	31,09	0,82	< 0,001
Разрез 2. Аллювиальная серогумусовая глеевая								
AY, 0-7	0,27	0,03	0,02	0,03	0,21	10,44	1,56	0,03
G, 7-41	0,25	0,04	0,02	0,03	0,25	10,01	1,83	0,03
Cg~, 41-130	0,23	0,03	0,01	0,01	0,18	5,32	0,98	0,01
Разрез 3. Аллювиальная серогумусовая гидрометаморфическая								
AY, 0-5	0,18	0,06	0,03	0,05	0,27	9,60	1,22	0,04
Q, 5-28	0,16	0,04	0,02	0,02	0,22	6,39	0,74	0,02
CQ~, 28-145	0,14	0,03	0,01	0,01	0,12	2,53	0,54	0,01
Разрез 4. Аллювиальная серогумусовая глеевая со вторым гумусовым горизонтом								
AY, 0-4	0,31	0,24	0,08	0,17	0,46	12,46	2,37	0,07
G, 4-37	0,29	0,06	0,06	0,04	0,56	9,35	1,66	0,04
G(hh), 37-50	0,24	0,05	0,06	0,02	0,48	6,42	1,50	0,03
Cg~, 50-94	0,17	0,05	0,04	0,08	0,39	3,63	1,36	< 0,001
Разрез 5. Серая типичная								
AY, 0-18	0,06	0,05	0,04	0,01	0,13	7,82	1,93	0,02
AEL, 18-32	0,12	0,04	0,39	0,01	0,13	2,78	0,87	0,01
BEL, 32-60	0,16	0,05	0,05	0,01	0,16	2,79	1,80	0,01
BT, 60-87	0,18	0,03	0,01	0,01	0,22	1,94	1,71	< 0,001
Разрез 6. Серая глееватая								
AY, 0-8	0,20	0,04	0,03	0,02	0,38	8,51	2,51	0,06
AELg, 8-86	0,20	0,03	0,02	0,01	0,22	2,46	1,31	0,01
BELg, 86-136	0,17	0,02	0,01	0,01	0,19	1,88	0,85	< 0,001
Разрез 7. Аллювиальная тёмногумусовая гидрометаморфическая типичная								
AU, 0-28	0,10	0,08	0,04	0,04	0,36	10,98	1,20	0,02
Q, 28-52	0,36	0,05	0,04	0,01	0,18	2,57	0,76	0,01
CQ~, 52-140	0,28	0,04	0,02	0,01	0,22	1,92	0,59	< 0,001
Разрез 8. Серая типичная								
AY, 0-20	0,04	0,04	0,04	0,00	0,14	2,66	1,14	0,01
AEL, 20-34	0,07	0,04	0,03	< 0,001	0,13	1,25	0,47	0,01
BEL, 34-84	0,07	0,04	0,04	0,01	0,15	2,42	0,90	0,01
BT, 84-112	0,09	0,05	0,29	0,01	0,16	5,46	0,54	< 0,001
Разрез 9. Тёмно-серая глеевая типичная								
AU, 0-39	0,05	0,03	0,03	0,01	0,11	5,79	0,51	0,01
BELg, 39-72	0,12	0,02	0,04	0,01	0,14	3,06	0,29	0,01
BTg, 72-140	0,14	0,05	0,06	0,01	0,12	3,32	0,28	< 0,001
Разрез 10. Дерново-подзол иллювиально-железистый								
AY, 0-20	2,90	0,08	0,03	0,04	0,19	8,65	2,85	0,02
E, 20-36	0,22	0,05	0,03	0,01	0,13	4,50	1,64	0,04
BF, 36-65	0,25	0,07	0,05	0,04	0,24	3,93	1,03	0,01
BC, 65-104	0,22	0,08	0,03	0,04	0,30	3,02	0,35	< 0,001
ПДК	3,0	6,0	6,0	5,0	4,0	60-80	23	—

Полные почвенные разрезы выполнены вдоль левобережья рек Иртыш, Тобол и в окрестностях населенных пунктов (рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На исследуемой территории наиболее распространены аллювиальные и серые почвы с признаками перевуаложнения (рис. 2, табл. 1).

Оценка взаимосвязи между гранулометрическим составом и потенциальной кислотностью почв с содержанием элементов проведена с помощью непараметрического критерия – коэффициента корреляции Спирмена и представлена в таблице 2. Содержание в почве подвижных форм Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Cr, Mn нормируется СанПиН 1.2.3685-21, для подвижной формы Cd ПДК не установлена.

Исследуемые почвы относятся к легким суглинкам с содержанием глинистых частиц в генетических горизонтах от 3,5 до 20,7 %, песчаных – 42,5-75 %, пылеватых – 17,2-47,2 %. В верхних горизонтах исследуемых почв преобладает песчаная фракция в гранулометрическом составе, к нижним горизонтам растёт доля пылеватых и глинистых частиц. Содержание Mn и Cd зависит от гранулометрического состава почвы – увеличивается вместе с долей песчаных частиц и уменьшается с ростом числа пылеватой фракции (табл. 2). Например, в профиле аллювиальной серогумусовой глеевой со вторым гумусовым горизонтом с уменьшением доли песчаных частиц с 72,5 до 65 % концентрация Mn уменьшается с 12,46 до 3,63 мг/кг. С повышением доли пылеватых частиц с 21,1 до 26,8 % содержание Cd снижается с 0,07 до менее 0,001 мг/кг (см. табл. 1).

В аллювиальных почвах потенциальная кислотность варьирует от слабокислой (5,2-5,5 ед. pH) до нейтральной (5,6-5,8 ед. pH) среды. Большинство элементов распределяется по аккумулятивному типу: для Pb и Cr обнаружена умеренная отрицательная корреляционная связь с pH_{KCl} (см. табл. 2). Максимальные кон-

центрации Pb (0,24 мг/кг) и Cr (0,08 мг/кг) выявлены в почве разреза 4 и характерны для среднекислой реакции среды (4,5 ед. pH) исследуемой почвы (см. табл.1).

В верхнем горизонте дерново-подзола иллювиально-железистого также определена очень сильнокислая среда почвы, обусловленная хвойей в лесной подстилке [9]. По почвенным горизонтам кислотность сохраняется достаточно высокой (3,9-4,6 ед. pH), поэтому наблюдается равномерное распределение Pb и Cr по профилю почвы. Здесь также выявлена максимальная концентрация Cu (2,9 мг/кг), вследствие умеренной положительной связи Cu с Mn она закрепляется в почве с оксидами Mn в первую очередь и проявляется себя как манганофильтр (см. табл. 2) [1]. Распределение остальных элементов по почвенному профилю происходит преимущественно по эллювиально-иллювиальному типу.

Распределение тяжелых металлов в горизонтах темно-серой глеевой типичной почвы имеет схожесть с агротёмно-серой глееватой почвой: из-за утяжеления гранулометрического состава к нижним горизонтам в них определены максимальные концентрации исследуемых элементов.

В исследуемых аллювиальных почвах отмечено распределение большинства элементов по аккумулятивному типу. Однако у Pb, Ni, Zn в серогумусовой глеевой, а также Ni в серогумусовой глеевой со вторым гумусовым горизонтом и Cu в тёмногумусовой гидрометаморфической типичной выявлено эллювиально-иллювиальное распределение, что может быть связано с малой мощностью и легким гранулометрическим составом гумусового горизонта.

Потенциальная кислотность серых типичных почв по профилю уменьшается от среднекислой в гумусово-эллювиальном горизонте до слабокислой среды в нижнем текстурном горизонте. В серых глееватых почвах во всех горизонтах наблюдается среднекислая среда, характерная для почв юга Тюменской области [10, 11].

Коэффициенты корреляции Спирмена между содержанием металлов и почвенными свойствами

[Table 2. Spearman's Rank Order Correlations between the metals content and soil properties]

Параметры / Parameters	Свойства почвы / Soil properties				Подвижные формы / Mobile forms								
	Clc, %	Sdc, %	Stc, %	pH _{KCl}	Cu	Pb	Cr	Co	Ni	Mn	Zn	Cd	
Подвижные формы [Mobile forms]	Cu	-0,15	0,11	-0,03	-0,13	—	0,43	-0,07	0,49	0,57	0,41	0,32	0,40
	Pb	0,04	0,25	-0,26	-0,39	—	0,51	0,71	0,42	0,54	0,22	0,36	
	Cr	0,25	-0,03	-0,06	-0,47	—	0,20	0,16	0,24	0,04	0,10	—	
	Co	-0,19	0,29	-0,19	-0,22	—	—	0,65	0,80	0,38	0,57	—	
	Ni	0,02	0,17	-0,14	-0,15	—	—	—	0,43	0,36	0,37	—	
	Mn	-0,34	0,47	-0,35	-0,05	—	—	—	—	0,37	0,77	—	
	Zn	-0,20	0,30	-0,22	-0,10	—	—	—	—	—	0,57	—	
	Cd	-0,40	0,55	-0,42	-0,12	—	—	—	—	—	—	—	

Примечание: Clc – глинистые частицы, Sdc – песчаные частицы, Stc – пылеватые частицы; Полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия ($p < 0,05$).

[Note: Clc – Clay content, Sdc – Sand content, Stc – Silt content; statistically significant values are in bold ($p < 0,05$)]

Увеличение концентраций всех рассматриваемых элементов в серой глееватой проходит по аккумулятивному типу, аналогично проходит накопление Pb, Co, Mn, Cd в серой типичной (разрез 5). Содержание микроэлементов, за исключением Zn и Cd, в серой типичной (разрез 8) напротив же растет вниз по почвенному профилю.

Концентрации элементов за исключением Mn, Zn и Cd в профилях тёмно-серой глеевой типичной и агротёмно-серой глееватой характеризуются элювиальным типом распределения.

В профиле дерново-подзола иллювиально-железистого высокие концентрации металлов кроме Cd, Cr, Ni содержались в серогумусовом горизонте, что обусловлено очень сильнокислой реакцией среды. Распределение элементов по почвенному профилю преимущественно по элювиально-иллювиальному типу.

Оценка взаимосвязи между гранулометрическим составом, обменной кислотностью почв и содержанием элементов представлены в таблице 2.

Для Ni, Zn, Cu и Co какие-либо значимые связи с исследуемыми свойствами почв отсутствуют. Выявлены сильные положительные связи Co-Mn; Mn-Cd и Pb-Co, менее тесные связи образуют пары Cd-Zn, Co; Pb-Mn, Cr; Ni-Cu, Co. Отмечена умеренная прямая корреляция Pb-Cu, Ni, Cd; Cu-Co, Mn, Cd и Ni-Mn, Zn, Cd.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание подвижных форм элементов в исследуемых почвах Кондинской низменности не превышает ПДК. В аллювиальных почвах максимальные концентрации элементов сосредоточены в верхней части почвенного профиля, что обусловлено аккумулятивным положением рельефа и поступлением микроэлементов с водосборных территорий. В серых почвах и дерново-подзоле иллювиально-железистом большая часть тяжелых металлов в связи с легким гранулометрическим составом имеет элювиально-иллювиальный тип распределения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водяницкий Ю. Н. *Тяжелые металлы и металлоиды в почвах*. Москва: ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. 164 с.
2. Кайгородов Р. В. Распределение микроэлементов и тяжелых металлов в генетических профилях почв юга Тюменской области // Успехи современного естествознания, 2022, № 12, с. 116-123.
3. Кarta почвенно-экологического районирования Российской Федерации: Масштаб 1:2500000: монография / И. С. Урусевская, И. О. Алябина, В. П. Винюкова и др. Москва: Талка+, 2013. 16 с.
4. Классификация и диагностика почв России: монография / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. Константинова Е. Ю. Почвы области сопряжения высоких террас реки Иртыш с краевой частью возвышенности Тобольский Материк // Вестник Томского государственного университета. Биология, 2016, № 2 (34), с. 6-18.
6. Московченко Д. В., Бабушкин А. Г. Фоновое содержание подвижных форм металлов в почвах севера Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование, 2015, т. 1, № 3, с. 163-174.
7. Московченко Д. В., Пожитков Р. Ю., Соромотин А. В. Геохимическая характеристика снежного покрова г. Тобольск // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов, 2021, т. 332, № 5, с. 156-169.
8. Московченко Д. В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск: Наука, 1998. 112 с.
9. Нестерова Л. А., Полякова С. Д. Загрязнение почв тяжелыми металлами как индикатор состояния природной среды Тажеранской степи // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2017, № 2, с. 68-73.
10. Почвенные процессы в подзолах песчаных в условиях вариаций климатических параметров лесостепи Среднерусской провинции / Н. П. Неведров, Е. П. Проценко, И. П. Балабина и др. // Юг России: экология, развитие, 2022, т. 17, № 1, с. 80-90.
11. Ренев Е. П., Ерёмин Д. И., Ерёмина Д. В. Оценка основных показателей плодородия почв наиболее пригодных для расширения пахотных угодий в Тюменской области // Достижения науки и техники АПК, 2017, т. 31, № 4, с. 27-31.
12. Синдирева А. В., Котченко С. Г., Елизаров О. И. Экологическая оценка содержания меди в почвенном покрове на юге тюменской области // Вестник Нижневартовского государственного университета, 2022, № 1 (57), с. 82-90.
13. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: СО РАН, 2007. 277 с.
14. Токарева А. Ю., Алимова Г. С., Земцова Е. С. Накопление химических элементов в растительных сообществах поймы Нижнего Иртыша // Экологический мониторинг и биоразнообразие, 2016, № 1 (11), с. 120-123.
15. Уфимцева М. Д. Закономерности накопления химических элементов высшими растениями и их реакции в аномальных биогеохимических провинциях // Геохимия, 2015, № 5, с. 450-465.
16. Guidelines for soil description / Jahn R., Blume H. P., Asio V. B., et al. Rome: FAO, 2006. 97 p.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 05.04.2024

Принята к публикации: 02.06.2025

Distribution of Mobile Forms of Heavy Metals in Soil Horizons of the Southern Taiga (Tyumen Region)

A. P. Kolobov[✉]

*Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Russian Federation
(15, Academician Yuri Osipov Str, Tobolsk, 626152)*

Abstract. The purpose is to estimate the distribution of the content of mobile forms of heavy metals (Ni, Cu, Zn, Co, Cr, Cr, Mn, Cd, Pb) in genetic horizons of taiga soils of the Kondinsky lowland within the Tobolsk district of the Tyumen Region.

Materials and Methods. The soil area under study is located near settlements on the left bank of the Irtysh and Tobol rivers and their inflows – Shaltsa, Erek, Taima and Suklyomka. Extraction of mobile forms of heavy metals from the soil was carried out by acetate-ammonium buffer solution, with subsequent determination of their concentrations by atomic absorption method.

Results and discussion. Results and discussion. The increase of concentrations of mobile forms of Mn and Cd with increasing share of sandy particles in the granulometric composition of the studied soils was revealed.

Conclusions. Variation of concentrations of mobile forms of the studied elements is related to the granulometric composition and pH of the medium in different types of soils.

Key words: Irtysh River, Tobol River, soil, granulometric composition, heavy metals, mobile forms.

Funding: The work was carried out within the framework of fundamental scientific research on the topic: «Ecological and geochemical transformations of soils in the ecosystems of the Ob-Irtysh basin under the influence of natural and man-made factors» (R&D registration number: 1024023000029-9-1.5.4).

Gratitude: The author expresses deep gratitude to R.V. Kaigorodov, Cand. Sci. (Biol.), for methodological assistance in describing the morphological features of horizons and classifying the studied types and subtypes of soils.

For citation: Kolobov A. P. Distribution of Mobile Forms of Heavy Metals in Soil Horizons of the Southern Taiga (Tyumen Region). *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologiya*, no. 2, pp. 142-148. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/2/142-148>

REFERENCES

1. Vodyanickij Yu. N. *Tyazhelye metally i metalloidy v pochvah* [Heavy metals and metalloids in soils] Moscow: GNU Pochvennyj institut im. V. V. Dokuchaeva Rossel'hozakademii, 2008. 164 p. (In Russ.)
2. Kajgorodov R. V. Raspredelenie mikroelementov i tyazhelyh metallov v geneticheskikh profilyah pochv yuga Tyumenskoj oblasti [Differentiation of trace elements and heavy metals in the genetic profiles of soils in the south of the Tyumen region]. *Uspekhi sovremennoego estestvoznanija*, 2022, no. 12, pp. 116-123. (In Russ.)
3. *Karta pochvenno-ekologicheskogo rajonirovaniya Rossiskoj Federacii: Masshtab 1:2500000: monografiya* [The map of soil-ecological zoning of the Russian Federation. Scale 1:2500000: monograph] / I. S. Urusevskaya, I. O. Alyabina, V. P. Vinyukova i dr. Moscow: Talka+, 2013. 16 p. (In Russ.)
4. *Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii: monografiya* [Classification and diagnostics of Russian soils: monograph] / L. L. Shishov, V. D. Tonkonogov, I. I. Lebedeva, M. I. Gerasimova. Smolensk: Ojkumena, 2004. 342 p. (In Russ.)
5. Konstantinova E. Yu. Pochvy oblasti sopryazheniya vysokih terras reki Irtysh s kraevoj chastyu vozvyshennosti Tobol'skij Materik [Soils of high Ishim river terraces and the marginal part of Tobolsk continent upland conjunction area]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*, 2016, no. 2 (34), pp. 6-18. (In Russ.)
6. Moskovchenko D. V., Babushkin A. G. Fonovoe soderzhanie podvizhnnyh form metallov v pochvah severa Zapadnoj Sibiri [Background level of mobile forms of metals in soils of northwest Siberia]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie*, 2015, vol. 1, no. 3, pp. 163-174. (In Russ.)
7. Moskovchenko D. V., Pozhitkov R. YU., Soromotin A. V. Geohimicheskaya harakteristika snezhnogo pokrova g. Tobol'sk [Geochemical characteristics of snow cover in Tobolsk]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2021, vol. 332, no. 5, pp. 156-169. (In Russ.)
8. Moskovchenko D. V. *Neftegazodobycha i okruzhayushchaya sreda: ekologo-geohimicheskij analiz Tyumenskoj oblasti* [Oil and gas development and environmental pollution: ecologically-geochemical analysis of Tyumen oblast]. Novosibirsk: Nauka, 1998. 112 p. (In Russ.)
9. Nesterova L. A., Polyakova S. D. Zagryaznenie pochv tyazhelyimi metallami kak indikator sostoyaniya prirodnoi sredy Tazheranskoi stepi [Pollution of soil with heavy metals as an indicator of the natural environment state in the Tazheran steppe]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologiya*, 2017, no. 2, pp. 68-73. (In Russ.)
10. Pochvennye processy v podzolah peschanyh v usloviiyah variacij klimaticheskikh parametrov lesostepi Srednerusskoj provincii [Soil processes in sandy podzols under conditions of variations in climatic parameters of the forest steppe of the Central

- Russian province] / N. P. Nevedrov, E. P. Procenko, I. P. Balabina i dr. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye*, 2022, vol. 17, no. 1, pp. 80-90. (In Russ.)
11. Renev E. P., Eryomin D. I., Eryomina D. V. Ocenna osnovnyh pokazatelej plodorodiya pochv naibolee prigodnyh dlya rasshireniya pahotnyh ugodij v Tyumenskoj oblasti [Estimation of the main indicators of fertility of soils most appropriate for expansion of croplands in Tyumen region]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2017, vol. 31, no. 4, pp. 27-31. (In Russ.)
12. Sindireva A. V., Kotchenko S. G., Elizarov O. I. Ekologicheskaya ocenka soderzhaniya medi v pochvennom pokrove na yuge tyumenskoj oblasti [Environmental assessment of the copper content in the soil cover in the south of the Tyumen region]. *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2022, no. 1 (57), pp. 82-90. (In Russ.)
13. Syso A. I. Zakonomernosti raspredeleniya himicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchih porodah i pochvah Zapadnoj Sibiri [Patterns of distribution of chemical elements in parent rocks and soils of Western Siberia]. Novosibirsk: SO RAN, 2007. 277 p. (In Russ.)
14. Tokareva A. Yu., Alimova G. S., Zemcova E. S. Nakoplenie himicheskikh elementov v rastitel'nyh soobshchestvah pojmy nizhnego Irtysha [Accumulation of chemical elements in plant communities of the flood-lands of the lower Irtysh]. *Ekologicheskij monitoring i bioraznoobrazie*, 2016, no. 1 (11), pp. 120-123. (In Russ.)
15. Ufimceva M. D. Zakonomernosti nakopleniya himicheskikh elementov vysshimi rasteniyami i ih reakcii v anomal'nyh biogeohimicheskikh provinciyah [The patterns in accumulation of chemical elements by higher plants and their responses in biogeohemical provinces]. *Geohimiya*, 2015, no. 5, pp. 450-465. (In Russ.)
16. *Guidelines for soil description* / Jahn R., Blume H. P., Asio V. B., et al. Rome: FAO, 2006. 97 p.

Conflict of interests: The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 05.04.2024

Accepted: 02.06.2025

Колобов Анатолий Павлович
Младший научный сотрудник Тобольской комплексной научной станции Уральского отделения Российской академии наук, г. Тобольск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7239-959X, e-mail: kolobovap@tobscience.ru

Anatoly P. Kolobov
Junior Researcher at the Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Tobolsk, Russian Federation ORCID: 0000-0001-7239-959X, e-mail: kolobovap@tobscience.ru