

УДК 911:631.445.4

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРОФИЛЯХ ПОЧВ ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Кайгородов Р.В.

*Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения Российской академии наук,
Тобольск, e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru*

Почвенный покров является одним из важнейших регуляторов биогеохимической миграции минеральных элементов в биосфере в целом и в пределах локальных ландшафтов в частности. Содержание микроэлементов в почвенном покрове существенным образом определяет их агроэкологическое состояние, влияет на обеспеченность растений минеральными веществами, а также регулирует активность микроорганизмов в почве. Изменение химического состава по профилю почвы хорошо изучено для кремния, алюминия, марганца, железа и калия. В нашей работе исследована дифференциация микроэлементов и тяжелых металлов в профилях некоторых типов почв южной части Тюменской области. В генетических горизонтах почв изучено валовое содержание элементов меди, цинка, никеля, хрома, железа, свинца и кадмия. Исследованные типы почв располагались на разных элементах рельефа. На водораздельных участках изучены подзол типичный и дерново-подзолистая типичная почва, на надпойменных террасах – темно-серая типичная и дерново-темногумусовая почвы, в поймах – аллювиальная серогумусовая почва с погребенным гумусовым горизонтом и аллювиальная гумусовая глееватая почва. Содержание металлов в почвах определяли методом оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе «Perkin Elmer 7000 DV». Валовое содержание определяли после разложения почвы в системе СВЧ-пробоподготовки в смеси концентрированных азотной и соляной кислот в присутствии перекиси водорода. Установлены закономерности миграции микроэлементов и тяжелых металлов в профилях в зависимости от типа почвообразования, свойств горизонтов (содержание гумуса, гранулометрический состав) и расположения почв в рельефе.

Ключевые слова: микроэлементы, тяжелые металлы, профильная дифференциация почвы, тип почвообразования, гранулометрический состав, органическое вещество, тип рельефа

DIFFERENTIATION OF TRACE ELEMENTS AND HEAVY METALS IN THE GENETIC PROFILES OF SOILS IN THE SOUTH OF THE TYUMEN REGION

Kaygorodov R.V.

*Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Tobolsk,
e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru*

Soil cover is one of the most important regulators of biogeochemical migration of mineral elements in the biosphere in general and within local landscapes in particular. The content of trace elements in the soil cover significantly determines their agroecological condition, affects the availability of plants with minerals, and also affects the activity of microorganisms in the soil. Changes in the chemical composition of the soil profile have been well studied for silicon, aluminum, manganese, iron and potassium. In our work, the differentiation of trace elements and heavy metals in the profiles of some types of soils in the southern part of the Tyumen region is investigated. The gross content of elements of copper, zinc, nickel, chromium, iron, lead and cadmium has been studied in the genetic horizons of soils. The studied types of soils were located on different elements of the relief. Typical podzol and sod-podzolic typical soil were studied in watershed areas, dark gray typical and sod-dark humus soils were studied on floodplains, alluvial gray humus soil with a buried humus horizon and alluvial humus gleevate soil in floodplains. The metal content in the soils was determined by optical emission spectroscopy with inductively coupled plasma on the Optima 5500 Perkin Elmer device. The gross content was determined after the decomposition of the soil in the microwave sample preparation system in a mixture of concentrated nitric and hydrochloric acids in the presence of hydrogen peroxide. The regularities of migration of trace elements and heavy metals in the profiles are established depending on the type of soil formation, the properties of horizons (humus content, granulometric composition) and the location of soils in the relief.

Keywords: trace elements, heavy metals, soil profile, type of soil formation, particle size distribution, organic substance, type of relief

В почвенном покрове происходит взаимодействие большого геологического и малого биологического круговоротов веществ, которое проявляется в соотношении процессов выноса и аккумуляции веществ в почвенном профиле. Совокупность явлений миграции, накопления и трансформации веществ и энергии в почвенном покрове определяет тип почвообразования. Дифференциация веществ в педосфере зависит

от многообразных природных и антропогенных факторов. Миграция веществ определяется их геохимическими свойствами, движением миграционных потоков по склону и внутри профиля почвы, образованием минеральных и органо-минеральных комплексов разной растворимости и доступности для живых организмов [1].

Динамика минерального состава в генетических профилях почв с разным типом

почвообразования изучена главным образом в отношении макроэлементов Si, Fe, Al, Mn, точнее их полуторных оксидов. Выявлены закономерности изменений валового химического состава этих элементов в зависимости от особенностей почвообразовательных процессов, затрагивающих минеральную часть почвы: элювиальный процесс, элювиально-иллювиальная дифференциация профиля, выщелачивание, лессиваж и др. [2]. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в основном изучается в генетических профилях почв, много значащих в урбанизированных и сельскохозяйственных экосистемах. Большая часть исследований направлена на оценку урвней накопления токсичных элементов для установления степени загрязнения той или иной экосистемы [3–6].

Ряд работ направлен на исследование эколого-геохимических закономерностей распределения металлов в профилях отдельных типов почв или почвенного покрова отдельных регионов России [7, 8].

Разнообразие типов почв, многообразие внешних и внутрипочвенных условий миграции химических элементов обуславливают необходимость дальнейших исследований факторов и закономерностей распределения микроэлементов и тяжелых металлов в профилях естественных и антропогенно-нарушенных почв, а также в слоях искусственных техногенных поверхностных образований (ТПО), для прогноза геохимической обстановки в почвенном покрове.

В настоящей работе исследованы закономерности распределения некоторых микроэлементов (Cu, Zn, Ni, Cr) и тяжелых металлов (Pb, Cd) в генетических профилях разных типов почв юга Тюменской области. Характер миграции исследуемых металлов сравнивался нами с распределением железа (Fe) в профилях почв, поскольку закономерности миграции этого металла в почвах разного типа хорошо изучены [1, 2]. Основные задачи: установить связь между расположением почвы в разных типах ландшафта с дифференциацией металлов в профиле, проанализировать влияние гумуса и гранулометрического состава почв на распределение металлов по генетическим горизонтам, оценить характер ведущего почвообразовательного процесса на содержание металлов в отдельных горизонтах почв.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использованы образцы почв, отобранные из генетических горизонтов почвенных разрезов,

расположенных в разных типах рельефа в Вагайском и Тобольском районах Тюменской области. Исследованные почвенные объекты рассматриваются нами как фоновые, поскольку места закладки разрезов располагались на большом удалении от крупных населенных пунктов, на участках без видимых признаков антропогенного воздействия.

Полевое определение почв и номенклатуру проводили согласно «Классификации и диагностике почв России, 2004» [9]. Из каждого горизонта отбирали по три смешанных почвенных образца с трех стенок разреза. Гранулометрический состав образцов почвы проводили в полевых условиях органолептическим мокрым способом [10]. Содержание гумуса определяли по методу И.В. Тюрина в модификации ЦИНАО [11].

Содержание микроэлементов и тяжелых металлов определяли методом оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ОЭС ИСП) на приборе «Perkin Elmer 7000 DV» на базе Тобольской комплексной научной станции УрО РАН в химико-экологической лаборатории. В образцах почв анализировали валовое содержание элементов после мокрого озоления в системе СВЧ-пробоподготовки в смеси концентрированных соляной и азотной кислот в присутствии 30%-ной перекиси водорода.

Список исследованных типов почв, их расположение в рельефе, данные по гранулометрическому составу генетических горизонтов и содержанию гумуса в органо-генных горизонтах представлены в табл. 1.

Характеристика исследуемых территорий

Геологическое строение

Почвообразующие породы Тобольского материка представлены в основном различного возраста озерно-аллювиальными светло-бурыми или желто-бурыми средними и тяжелыми суглинками. В гранулометрическом составе высокое содержание крупной пыли, что сближает их с лёссовидными. Породы уплотнены, иногда плотны, нередко тонкопористы, имеют признаки былого и современного оглеения в виде ржаво-охристых и сизых пятен. На основной части материка они бескарбонатны, и только в восточной более приподнятой части ближе к границе Васюганской равнины обнаруживаются карбонаты. Вещественный состав обычен для озерно-аллювиальных отложений региона.

Таблица 1

Исследованные типы почв, расположение в рельефе,
гранулометрический состав и доля гумуса в органогенных горизонтах

Тип почвы	Горизонты, границы/мощность, см	Положение в рельефе	Гранулометрический состав	Доля гумуса, %
Подзол типичный	О – подстилочный 0-4/4	Высокая равнина (автоморфный)	Супесь	2–3
	ЕL – элювиальный 4–14/10		Легкий суглинок	–
	BEЛ – субэлювиальный 14-63/49		Супесь	–
	BT – текстурный 63-105/42		Средний суглинок	–
Дерново-подзолистая типичная	АО – Подстилочный 0-4/4	Высокая равнина (автоморфный)	Супесь	5–7
	АУ – Серогумусовый 4-17/13		Легкий суглинок	10–15
	ЕL – Элювиальный 17-24/7		Супесь	0,5–0,3
	BEЛ – Субэлювиальный 24-68/44		Средний суглинок	0,3–0,2
	BT – Текстурный 68-91/23		Средний суглинок	0,2–0,1
дерново-темно-гумусовая	АН – Перегнойно-темногумусовый 0-4/4	Надпойменная терраса (полугидроморфный)	Супесь	15–17
	АU – Темногумусовый 4-34/30		Легкий суглинок	10–12
	BEЛ – Субэлювиальный 34-94/60		Средний суглинок	0,5–1,1
Гумусово-квасилгеевая почва	АУ – Серо-гумусовый 0-2/2	Надпойменная терраса (полугидроморфный)	Супесь	10–15
	АU – Темногумусовый 2-28/26		Легкий суглинок	11–13
	Q – Квасилгеевый 28-42/14		Средний суглинок	0,5–0,7
	СQ – Переходный к породе 42-72/30		Средний суглинок	0,1–0,3
Аллювиальная гумусовая глееватая	АУ Серо-гумусовый 0–6/6	Пойма (гидроморфный)	Супесь	3 – 6
	С~g–аллювиальная порода оглеенная 6–140/134		Легкий суглинок	0,5–0,8
Аллювиальная гумусовая глеевая с погребенным гумусовым горизонтом	АУ – серогумусовый 0-4/4	Пойма (гидроморфный)	Супесчаный	9–11
	G – глеевый 4-37/33		Супесчаный	0,7–0,9
	G(hh) – погребенный гумусовый 37-50/13		Супесчаный	6–8
	Сg – аллювиальная порода оглеенная 50-94/44		Средний суглинок	0,5–0,8

На данной территории отмечают повышенное содержание Ti и Mn, а в некоторых разрезах и Al. Несколько своеобразны водно-физические свойства. Также характерна невысокая плотность твердой фазы пород, что говорит о малом содержании минералов тяжелых фракций и невысокая объемная масса, по-видимому, из-за высокого содержания крупной пыли и ее набухаемости в условиях повышенного увлажнения. Поэтому эти породы имеют низкую водопроницаемость, что способствует возникновению верховодки и длительному увлажнению профиля почв [12].

Почвенный покров

Структура почвенного покрова Тюменской области несложная. Более 60% занимают гидроморфные почвы, главным образом торфяно-болотные. Широко представлены аллювиальные почвы, особенно в поймах рек Тобол, Иртыш. Менее распространены дерново-глеевые, луговые, лугово-болотные, дерново- и торфянисто-подзолисто-глеевые.

Из автоморфных почв абсолютно преобладает тип подзолистых почв. Здесь более широко представлены дерново-подзолистые как обычные, так и со вторым гумусовым горизонтом. Большинство исследователей считают погребенный гумусовый горизонт реликтовым, сохранившимся от высокогумусированных гидроморфных или полугидроморфных почв, близких к современным лугово-черноземным. На это указывают в том числе данные радиоуглеродного датирования, определившие возраст второго гумусового горизонта около 7000 лет, в отличие от 1300 лет верхнего гумусового горизонта А [12].

**Результаты исследования
и их обсуждение**

***Распределение микроэлементов
и тяжелых металлов
в профилях текстурно-
дифференцированных почв***

Подзолистая и дерново-подзолистая почва относятся к зональным типам почв Тюменской области и располагаются на автоморфных участках рельефа. Оба типа почв характеризуются кислой реакцией почвенного раствора и низким содержанием гумуса. Для подзолистой почвы характерно наличие органогенного грубогумусового горизонта (O), состоящего из слабо разложившегося лесного опада растений. В профиле дерново-подзолистой почвы за счет дернового процесса формируется серогумусовый горизонт. Органогенные горизонты выступают важнейшими геохимическими барьерами, аккумулирующими микроэлементы и тяжелые металлы [6].

Как показывает анализ данных из табл. 2 и 3, подзолистая и дерново-подзолистая почвы, относящиеся к одному отделу текстурно-дифференцированных почв [9], проявляют общие закономерности в распределении металлов по профилям. Оба изученных разреза обладали сходным гранулометрическим составом, меняющимся от супесчаного до легкосуглинистого. Характерная для обоих типов почв миграция железа, связанная с элювиальным процессом, выраженная в переносе элемента вниз по профилю и обеднением элювиального горизонта (EL) [2], проявилась и в отношении ряда других металлов: меди и цинка.

Таблица 2

Валовое содержание металлов
в генетических горизонтах подзола типичного, мг/кг

Горизонт	Мощность горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
O	0-4/4	2,1±0,1	1,9±0,2	0,3±0,01	193±26	0,1±0,02	5,4±0,2	0,2±0,03
EL	4-14/10	0,6±0,1	1,0±0,1	0,1±0,01	24±2	0,01±0,001	0,1±0,01	0,1±0,01
BEL	14-63/49	1,6±0,2	2,6±0,5	0,2±0,04	275±10	0,1±0,01	0,5±0,02	0,1±0,02
BT	63-105/42	0,9±0,1	3,1±0,1	0,2±0,02	318±10	0,1±0,02	0,1±0,01	0,1±0,01

Таблица 3

Валовое содержание металлов в генетических горизонтах
дерново-подзолистой типичной почвы, мг/кг

Горизонт	Мощность горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
АО	0-4/4	4,9±0,3	6,3±0,9	0,3±0,04	289±16	0,3±0,01	6,4±0,6	0,2±0,03
АУ	4-17/13	1,3±0,2	0,5±0,05	0,1±0,01	75,4±0,7	0,03±0,001	0,7±0,1	0,04±0,01
ЕЛ	17-24/7	0,4±0,05	0,2±0,02	0,03±0,01	24±2	0,02±0,004	0,3±0,02	0,02±0,004
ВЕЛ	24-68/44	1,1±0,2	0,4±0,05	0,2±0,01	109±2	0,1±0,01	1,5±0,1	0,05±0,004
ВТ	68-91/23	0,7±0,1	0,4±0,02	0,3±0,03	341±9	0,05±0,01	2±0,4	0,1±0,001

Таблица 4

Валовое содержание металлов в генетических горизонтах
дерново-темногумусовой почвы, мг/кг

Горизонт	Мощность горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
АН	0-4/4	7,4±0,4	9,0±0,3	1,4±0,1	237±3	0,5±0,01	8,4±0,7	0,7±0,04
АУ	4-34/30	5,9±0,5	5,9±0,8	0,9±0,1	211±2	0,3±0,03	1,5±0,2	0,3±0,06
ВЕЛ	34-94/60	1,5±0,2	0,9±0,1	0,7±0,06	273±6	0,2±0,04	0,7±0,08	0,07±0,01

Для большинства изученных металлов характерно повышенное накопление в верхних органогенных горизонтах, по сравнению с нижележащими минеральными генетическими горизонтами. Никель и хром распределялись по профилю относительно равномерно, однако также выносились из элювиального горизонта вниз по профилю.

**Распределение микроэлементов
и тяжелых металлов
в профилях органо-аккумулятивных
и гидротематоморфических почв**

Исследованные типы почв: дерново-темногумусовая и гумусово-квасиглеевая из отделов органо-аккумулятивных и гидротематоморфических почв соответственно, располагались в одинаковых полугидроморфных элементах рельефа в пределах надпойменных террас малых и средних рек и характеризовались относительно высоким содержанием гумуса в верхней части профиля (табл. 1). В связи с этим мы рассматриваем характер распределения металлов в профиле данных типов почв совместно.

Однако некоторые особенности распределения металлов в профилях дерново-темногумусовой и гумусово-квасиглеевой почв, связанные с различием почвообразовательных процессов, также рассмотрены ниже.

Характер распределения металлов по профилю коренным образом отличался от типов из отдела текстурно-дифференцированных, рассмотренных выше и выражается в повышенном содержании элементов в верхней органогенной части почвы и постепенном снижении их концентрации вниз по профилю (табл. 4 и 5).

Наличие субэлювиального горизонта (ВЕЛ), в котором наблюдалось повышенное содержание железа, свидетельствует о протекании элювиального процесса в профиле дерново-темногумусовой почвы.

Характерной особенностью распределения металлов в профиле гумусовой-квасиглеевой почвы (табл. 5) стало высокое содержание железа в квасиглеевом горизонте (Q), который в морфологическом плане отличался обилием ржавых пятен и примазок, появляющихся за счет накопления оксидов железа за счет глеевого процесса [2].

Таблица 5

Валовое содержание металлов в генетических горизонтах гумусовой-квизиглеевой почвы, мг/кг

Горизонт	Границы (Мощность) горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
AУ	0-2/2	9,1±0,4	9,6±0,4	2,1±0,1	243±3	0,8±0,06	9,0±0,4	1,2±0,1
AU	2-28/26	7,2±0,5	2,7±0,3	1,4±0,1	129±6	0,3±0,06	2,7±0,4	0,7±0,06
Q	28-42/14	1,5±0,3	0,6±0,06	0,7±0,06	653±4	0,2±0,04	0,6±0,06	0,2±0,06
CQ	42-72/30	0,3±0,1	0,2±0,06	0,5±0,05	467±23	0,08±0,01	0,3±0,03	0,02±0,006

Таблица 6

Валовое содержание металлов в генетических горизонтах аллювиальной гумусовой глееватой почвы, мг/кг

Горизонт	Границы (Мощность) горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
AУ	0-6/6	10,4±0,6	12,8±1,3	2,7±0,3	227±3	1,6±0,06	1,3±0,06	1,2±0,04
C~g	6-140/134	0,5±0,09	1,0±0,1	0,7±0,08	258±7	1,3±0,06	0,3±0,06	0,2±0,06

Таблица 7

Валовое содержание металлов в генетических горизонтах аллювиальной темногумусовой глеевой почвы с погребенным гумусовым горизонтом, мг/кг

Горизонт	Границы (Мощность) горизонта, см	Cu	Zn	Ni	Fe	Cr	Pb	Cd
AУ	0-4/4	11,3±0,5	16,4±0,5	3,3±0,5	143±6	1,6±0,3	11,3±0,5	1,7±0,1
G	4-37/33	3,3±0,6	2,8±0,2	1,4±0,1	468±19	0,9±0,05	1,9±0,4	0,8±0,06
G(hh)	37-50/13	9,2±0,5	13,3±0,5	2,8±0,3	137±3	1,1±0,1	8,3±0,4	0,5±0,06
Cg	50-94/44	0,3±0,04	0,9±0,1	0,2±0,05	250±6	0,5±0,08	0,7±0,06	0,2±0,05

Распределение микроэлементов и тяжелых металлов в профилях аллювиальных почв

Отдел аллювиальные почвы входит в ствол синлитогенных почв, в профиле которых процессы почвообразования идут параллельно с процессами осадконакопления в аккумулятивных пойменных элементах рельефа. Аллювиальные гумусовые глееватые почвы формируются в средней части поймы в условиях периодического краткосрочного затопления под злаковыми и пойменными лесными растительными сообще-

ствами [9]. Аллювиальные темногумусовые глеевые почвы залегают в нижней части поймы и подвержены регулярному длительному затоплению в период паводков.

Расположение аллювиальной гумусовой глееватой почвы в аккумулятивном типе ландшафта (пойма) и высокая доля гумуса (до 10–15%) в серогумусовом горизонте (AУ) обусловило высокое содержание всех металлов в верхнем горизонте. Вниз по профилю в материнской породе (C~g), отбор образцов проводили в средней части горизонта, наблюдается резкое снижение

содержания всех металлов, за исключением железа и хрома. Оба элемента характеризовались относительно равномерным распределением в профиле.

Аллювиальная гумусовая глеевая почва с погребенным гумусовым горизонтом располагалась в пойме, т.е. занимала аккумулятивное гидроморфное положение в рельефе. Высокая доля гумуса в верхней части почвы, наряду с положением в аккумулятивном элементе рельефа, обусловила накопление металлов, мигрирующих с вышележащих элементов рельефа в серогумусовом горизонте (AY). Немаловажным источником поступления микроэлементов и тяжелых металлов в пойменные почвы выступают паводковые процессы, приносящие водные растворы и органико-минеральные осадки с больших водосборных территорий [2]. В глеевом горизонте (G) наблюдалось резкое снижение содержания всех металлов, за исключением железа, аккумуляция которого в этом слое связано с глеевым процессом и накоплением восстановленных форм железа. Наличие в профиле погребенного гумусового горизонта (Ghh) привело к повышению содержания металлов в средней части разреза. В материнской породе происходило резкое снижение содержания большинства металлов, что может свидетельствовать об их поступлении с поверхности за счет положения в аккумулятивном типе рельефа, а не из материнской породы. Содержание железа в оглеенной материнской породе вновь повышается относительно вышележащего горизонта, что также обусловлено протеканием глеевых процессов.

В табл. 8 приведены некоторые эколого-геохимические характеристики и показатели исследуемых элементов.

Таблица 8

Эколого-геохимические характеристики
исследованных металлов [5, 6]

Элемент	Кларк литосферы, мг/кг	Кларк почвы, мг/кг	ПДК, мг/кг
Cu	47	20	55
Zn	83	50	150
Ni	58	40	100
Cr	83	200	–
Pb	16	20	30
Cd	0,1	0,3–0,5	5

Сопоставление кларков литосферы и почвы для изученных металлов в образцах

с максимальным содержанием (содержание ниже кларков) в исследованных типах почв показало рассеивание большинства металлов в генетических горизонтах, даже в почвах аккумулятивных пойменных ландшафтов. Вероятно, это связано с легким гранулометрическим составом исследованных почв. Содержание кадмия в органогенных и некоторых минеральных горизонтах почв, расположенных в полугидроморфных и гидроморфных элементах рельефа, было выше кларка литосферы и в некоторых случаях выше кларка почв, что свидетельствует о биогеохимической аккумуляции кадмия. Превышение ПДК для всех изученных элементов не установлено.

Заключение

Выявлены закономерности распределения микроэлементов и тяжелых металлов в профиле разных типов почв. Отдельные элементы проявляют специфические особенности в дифференциации в профиле. Хром характеризуется относительно равномерным распределением по генетическим горизонтам изученных почв. Дифференциация цинка, меди и свинца в профилях почв существенным образом связана с долей гумуса. Распределение кадмия зависит главным образом от положения почвы в рельефе, при этом его содержание повышается от элювиальных ландшафтов к аккумулятивным.

Исследованные почвы обладали сходным легким гранулометрическим составом, в связи с чем этот фактор миграции и иммобилизации металлов не оказывал существенного влияния на различия в дифференциации исследованных элементов в профилях почв.

Миграция железа в профилях исследованных почв существенным образом связана с протекающими почвообразовательными процессами, что соответствует классическим почвенным исследованиям. В ходе подзолистого процесса и элювиально-иллювиальной дифференциации профиля наблюдается вынос железа из элювиальных горизонтов и его накопление в субэлювиальных и текстурных горизонтах подзолистой и дерново-подзолистой почв. Аналогичные железу закономерности в текстурно-дифференцированных почвах проявляют медь и цинк. В почвах с выраженными глеевыми процессами высокое содержание железа характерно для глеевых горизонтов. Для никеля, свинца и кадмия установлено постепенное снижение содержания от верх-

ней к нижней части профиля почв из отделов органо-аккумулятивных, гидроморфических и аллювиальных.

Статья подготовлена при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы «Региональные особенности пространственно-временной дифференциации почв юга Тюменской области» (FUUM-2022-0005).

Список литературы

1. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебное пособие для геогр., биол., геолог., сельхоз. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1998. 413 с.
2. Щеглов Д.И. Процессы почвообразования: учебное пособие. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. 58 с.
3. Михальчук Н.В. Тяжелые металлы и микроэлементы в фоновых почвах и агроландшафтах юго-запада Беларуси // Агроэкологический журнал. 2017. № 3. С. 27–31.
4. Персикова Т.Ф., Мыслыва Т.Н., Царева М.В. Распределение микроэлементов по профилю дерново-подзолистой почвы при использовании куриного помета в качестве удобрения // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 158–162.
5. Синдирева А.В., Котченко С.Г., Елизаров О.И. Экологическая оценка содержания меди в почвенном покрове на юге Тюменской области // Вестник НВГУ. 2022. № 1 (57). С. 82–90. DOI: 10.36906/2311-4444/22-1/09.
6. Щеглов Д.И., Горбунова Н.С., Семенова Л.А., Хатунцева О.А. Микроэлементы в почвах сопряженных ландшафтов Каменной степи различной степени гидроморфизма // Почвоведение. 2013. № 3. С. 282–290. DOI: 10.7868/S0032180X1303009X.
7. Панасин В.И., Депутатов К.В., Рымаренко Д.А. Эколого-геохимические особенности распределения микроэлементов в почвах Калининградской области // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 3. С. 3–7. DOI: 10.26178/AE.2019.49.39.001.
8. Архипов И.А. Закономерности пространственного и внутрипрофильного распределения микроэлементов (ванадия и никеля) в почвах бассейна реки Катунь // Русское географическое общество. Алтайское отделение. Известия Алтайского отделения Русского географического общества. Барнаул, 2013. Вып. 34. С. 113–117.
9. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
10. Агрофизические и агрохимические методы исследования почв: учебно-методическое пособие / Сост. В.И. Терпелец, В.Н. Слюсарев. Краснодар: КубГАУ, 2016. 65 с.
11. Определение количественных и качественных характеристик гумуса различными методами и интерпретация полученных результатов. Методические указания / Сост. Е.В. Каллас, А.С. Новикова, Т.О. Валевиц. Томск. Изд-во ТГУ, 2020. 60 с.
12. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1990. 286 с.