

УДК 581.526.45(282.247.321.7):549.25/29

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОМ ПОКРОВЕ ЛУГОВЫХ ЭКОСИСТЕМ ПОЙМЫ Р. СОЖ ВЕТКОВСКОГО РАЙОНА

**Н.М. Дайнеко**, кандидат биологических наук,

**С.Ф. Тимофеев**, кандидат сельскохозяйственных наук,

УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»,

г. Гомель, Беларусь

### Аннотация

В условиях пойменных лугов изучали аккумуляцию тяжелых металлов в почве и травостое *Deschampsietum cespitosae*, *Trifolium repens*, *Caricetum gracilis*, *Junco-Deschampsietum cespitosae*, *Poo-Festucetum pratensis*, *Phalaridetum arundinaceae*. Выявлены существенные различия по содержанию тяжелых металлов в почве и травостое фитоценозов. Установлена специфика содержания тяжелых металлов в почве применительно к формирующимся на них растительных ассоциациях.

Среднее содержание тяжелых металлов в травостое варьировало в пределах 0,01–304 мг/кг.

Убывающий ряд по среднему содержанию тяжелых металлов в травостое можно представить следующим образом:  $Mn > Fe > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd > Cr$ . Значения коэффициента накопления варьировали от 0,008 до 19,88.

**Ключевые слова:** пойменные экосистемы, фитоценоз, миграция, тяжелые металлы, убывающие ряды, коэффициенты накопления

### Abstract

**N. Dajneko, S. Timofeev**

## CONTENT OF HEAVY METALS IN THE SOIL-VEGETATION COVER OF THE FLOODPLAIN MEADOW ECOSYSTEMS OF SOZH RIVER, VETKA DISTRICT

Content of heavy metals in soil and *Deschampsietum cespitosa*, *Trifolium repens*, *Caricetum gracilis*, *Junco-Deschampsietum cespitosae*, *Poo-Festucetum pratensis*, *Phalaridetum arundinaceae* plant associations was studied in flood meadows. Significant differences in the content of heavy metals in the soil and herbage phytocenoses were revealed. The specificity of the content of heavy metals in the soil was established in relation to the plant associations that form on them.

The average content of heavy metals in the herbage ranged from 0,01 to 304 mg / kg. The decreasing series in terms of the average content of heavy metals in the herbage can be represented as follows:  $Mn > Fe > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd > Cr$ . The values of the accumulation coefficient ranged from 0,008 to 19,88.

**Keywords:** floodplain ecosystems, phytocenosis, migration, heavy metals, decreasing series, accumulation factors

### Введение

К тяжелым металлам относятся более 40 химических элементов периодической системы. Тяжелые металлы (ТМ) – это группа элементов с плотностью больше, чем плотность железа. В зависимости от количества в почве элемент может иметь название тяжелый металл или микроэлемент.

ТМ участвуют в биологических процессах, входят в состав ферментов. Многие из них выполняют в живых организмах функции катализаторов биохимических процессов.

К числу тяжелых металлов относят хром, марганец, железо, кобальт, никель, медь, цинк, галлий,

германий, молибден, кадмий, олово, сурьму, теллур, вольфрам, ртуть, таллий, свинец, висмут. Главными природными источниками тяжелых металлов являются магматические и осадочные породы. Содержание ТМ в почвах неравномерно и зависит от состава исходных горных пород и истории геологического развития территорий. Это обстоятельство оказывает существенное влияние на живое вещество почвы. Как известно, почва – это биокосное тело природы, а живое вещество почвы представлено микроорганизмами, мезоорганизмами и макроорганизмами. Безусловно, имеет место преобладание в почве микроорганизмов.

Загрязнение почв ТМ может вызывать определенные изменения в видовом составе комплекса почвенных микроорганизмов. В качестве общей закономерности отмечается значительное сокращение видового богатства. При низких концентрациях ТМ наблюдается некоторая стимуляция развития микробного сообщества, затем, по мере возрастания концентраций, происходит его замедление, а после этого – подавление. Достоверные изменения видового состава фиксируются при огромных концентрациях ТМ.

Еще одной живой экосистемой почвы является растительный покров. Почва формирует химический состав растений. В связи с этим накопление ТМ растениями обусловлено их высокими концентрациями в почвах и зависит от гранулометрического состава, физико-химических свойств почвы и форм нахождения ТМ.

Именно через растения часть ТМ может поступать в организм человека. Содержание ТМ в пищевой растительности в значительной степени влияет на здоровье населения.

В настоящее время процессы миграции ТМ в природе существенно зависят от антропогенного фактора, то есть от загрязнения окружающей среды. Знание особенностей миграции ТМ в системе "почва – растение" позволит избежать негативного воздействия ТМ на организм человека.

#### **Обзор литературы**

Основой существования жизни, или живого вещества, на планете является почва. Почва, по выражению выдающегося ученого, академика В.И. Вернадского, – это биокосное тело природы [1].

Живые организмы существенно преобразовали часть литосферы и сформировали такое свойство, как плодородие. Человечество постоянно задается вопросом о конечности преобразования косного вещества планеты. До каких пределов может увеличиваться почвенное плодородие? Отвечая на этот вопрос, В.И. Вернадский пишет, что существенное значение может иметь геохимическое изучение живого вещества. Определенную роль могут играть следовые количества разных элементов, которые входят в состав живого вещества как составная часть тела и различного рода катализаторы. Уже сейчас выяснено стимулирующее значение многих элементов, находящихся в следовых количествах. Отсюда сле-

дует, что человек сможет комбинировать полезные для растений свойства тех или иных элементов [2].

В.И. Вернадский заложил основы учения об элементах, находящихся в следовых количествах. Под этими элементами подразумеваются микроэлементы и тяжелые металлы.

По биологической классификации химических элементов ТМ принадлежат к группам микро- и ультрамикроэлементов [3,4].

Результаты исследований свидетельствуют о формировании полиметаллического загрязнения. При этом основным поллютантом почв техногенно-антропогенных зон является Pb, а природно-антропогенных зон города – As. Для дерновых почв городских лугов можно построить следующий убывающий ряд: As<sub>4,1</sub> > Mn<sub>3,5</sub> > Ni<sub>2,9</sub> > V<sub>2,4</sub> > Pb<sub>1,9</sub> > Zn<sub>1,5</sub> > Cu<sub>1,3</sub> > Hg<sub>1,0</sub> [5-7].

Важность тяжелых металлов признают многие исследователи. Эти мысли поддерживают известные ученые. Так, Я.В. Пейве называет элементы, находящиеся в следовых количествах, микроэлементами и отводит им существенную роль в биохимических процессах живого вещества почвы. Это, прежде всего, активация деятельности ферментов, участие в окислительно-восстановительных процессах, участие в синтезе белка. Недостаток микроэлементов снижает урожайность растений, а избыток приводит к негативным последствиям. К микроэлементам Я.В. Пейве относит Cu, Zn, Mn, Co, Mo, Fe, Mg. Эти элементы участвуют в ферментативных реакциях. Автор отмечает, что в ряде случаев невозможно провести резкую грань между макро- и микроэлементами. Биологическая доступность микроэлементов, как правило, относительно небольшая и существенно изменяется в различных почвенно-климатических регионах [8].

Весомое значение на накопление и распределение по профилю большинства тяжелых металлов оказывают геохимические барьеры. В пределах карбонатного геохимического барьера резко ограничивается миграционная подвижность Pb, Zn, Cd, Ni. В то же время сохраняется миграционная активность и опасность накопления в растениях Sr и отчасти Mn [9].

Для ТМ почва является бездонным резервуаром. Она находится в постоянном взаимодействии с другими экосистемами. Именно почва является

важным источником поступления ТМ в организм человека. Почвенные ТМ в процессе выращивания растений поглощаются из почвы их корневой системой, а затем накапливаются в сельскохозяйственных культурах. Кроме того, при вымывании поверхностными водами они концентрируются в пониженных элементах рельефа. ТМ быстро накапливаются в почве и медленно выводятся.

Многочисленные исследования доказывают, что на концентрацию ТМ влияют свойства почв. В почвах тяжелого гранулометрического состава концентрируются более существенные количества ТМ, а легкие почвы в меньшей степени накапливают их. Кроме того, существенное значение имеют агрофизические и физико-химические свойства почвы. В условиях кислой среды нерастворимая часть фракции ТМ переходит в растворимые формы, тем самым концентрация ТМ в кислых почвах может нарастать [10, 11, 12, 13].

Избыток и недостаток ТМ в почве может отрицательно влиять на рост и развитие растений, а также на качество растениеводческой продукции. При фоновой концентрации тяжелых металлов в почве ТМ в растениях не накапливаются. При их повышенных концентрациях в почве может иметь место повышенное содержание ТМ в растениях [14].

Ряд исследователей считают, что больше ТМ накапливается в подземных органах: корнях, корнеплодах, клубнеплодах, корневищах. Меньшее их количество накапливается в надземной вегетативной массе, и еще меньше – в надземных генеративных органах.

ТМ поступают в растения через корни и листья. Причем доступность ТМ через листья неодинакова. Наиболее значимыми загрязнителями пищевых продуктов являются свинец, кадмий, мышьяк, ртуть. Они представляют серьезную опасность при хроническом воздействии, даже в небольших дозах [15–18].

Результаты исследований показали, что среди луговых растений можно выделить «индикаторы» и «исключители», в зависимости от значений коэффициентов накопления.

Эффективно поглощаются видами лугов подвижные элементы: стронций, марганец, хром, биогенный элемент медь.

Для луговых видов из различных по географическому расположению местообитаний установлены

одинаковые значения коэффициентов накопления ТМ, что подтверждает видовую специфику накопительных возможностей растений. Эссенциальные элементы: железо, марганец, медь, цинк – накапливаются растительной биомассой ввиду значительной роли этих ТМ в биохимических процессах клетки. Степень накопления ТМ обуславливают почвенный режим увлажнения, богатство азотом, кислотность почв [19–20].

В Республике Беларусь надзор за химическим загрязнением земель на фоновых территориях осуществляет Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (ГИАЦ НСМОС). Отбор проб почв проводится в сети пунктов наблюдений, равномерно распределенных по территории республики. В 2017 г. количество пунктов наблюдений составило 15. В почве определяют содержание тяжелых металлов, кадмия, цинка, свинца, меди, никеля, хрома, ртути и других загрязнителей. Оценка состояния почв производится путем сравнения с величинами предельно допустимых или ориентировочно допустимых концентраций (ПДК или ОДК). Установлено, что содержание загрязняющих веществ в почвах на фоновых территориях значительно ниже значений ПДК и ОДК. Кроме того, они изменились незначительно относительно результатов прошлых лет [21].

На протяжении ряда лет изучение миграции тяжелых металлов в системе "почва – растение" проводили без учета особенностей формирования и состава фитоценозов. НИР проводили или на отдельных видах растений, или на общих образцах с сельскохозяйственных угодий. Любой луг можно представить как совокупность отдельных фитоценозов. В связи с этим и изучать миграцию тяжелых металлов необходимо на основе существующих конкретных фитоценозов.

**Цель работы:** Выявить особенности миграции тяжелых металлов в системе "почва-растение" в условиях пойменных экосистем.

#### **Объекты и методика исследований**

Исследования проводили в 2016–2017 гг. в пойме р. Сож на территории Ветковского района. Отбор проб почвы осуществляли на участках луга, сформированными изучаемыми растительными ассоциациями: *Deschampsietum cespitosae*, *Trifolium*

*repens*, *Caricetum gracilis*, *Junco-Deschampsietum cespitosae*, *Poo-Festucetum pratensis*, *Phalaridetum arundinaceae*. Сообщество *Caricetum gracilis* было выявлено на двух объектах. Классификация луговых экосистем выполнена на основе эколого-флористической классификации по методу Браун-Бланке [22].

Содержание в почве тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Fe, Mn) определяли на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Perkin-Elmer ELAN 9000 (США).

#### Результаты исследований

Содержание тяжелых металлов в почве луговых экосистем представлено в табл. 1. Установлены существенные различия по содержанию тяжелых металлов в почвах луговых ассоциаций. Так, в почве содержалось более всего железа, а менее всего – хрома. По среднему содержанию тяжелых металлов в почве луговых экосистем р. Сож Ветковского района можно сформировать следующий ряд в порядке уменьшения: Fe > Mn > Zn > Pb > Cu > Ni > Co > Cd > Cr. Различия по среднему содержанию между железом и хромом составили более 13 тысяч раз. Амплитуда варьирования по содержанию тяжелых металлов в почве между максимумом и минимумом составила для железа более 6 раз, свинца и меди – 5–7 раз, марганца, цинка, никеля – 2–3 раза, кобальта – 1,7 раза. Для хрома и кадмия варьирование не выявлено, что связано с их малым количеством в почве. Имеются определенные соотношения между элементами в почве под изучаемыми сообществами. Так, для *Caricetum gracilis* соотношение между железом и марганцем в почве не превышало 0,8–1,1. Для *Trifolium repens* выявлено максимальное соотношение между элементами – 5,8. Для остальных сообществ оно составило 3,6–4,2. Соотношение между цинком и свинцом варьировало в пределах 0,7–2,9. Минимальное соотношение элементов в почве выявлено для *Junco-Deschampsietum cespitosae*, максимальное – для *Trifolium repens*. Соотношение между свинцом и медью в почве составило 1,1–2,3. Минимальные и максимальные значения отмечены соответственно для ассоциаций *Poo-Festucetum pratensis* и *Caricetum gracilis*. Анализируемые параметры между цинком и медью варьировали в пределах 1,1–5,6. Минимальные и максимальные значения выявлены

для сообществ *Junco-Deschampsietum cespitosae* и *Trifolium repens*.

В ходе исследований обнаружены различия по концентрации изучаемых элементов в почве под отдельными ассоциациями. Установлена высокая концентрация 6 из 9 элементов в почве ассоциации *Poo-Festucetum pratensis*. На второй позиции оказалась почва под ассоциацией *Phalaridetum arundinaceae*. Можно предположить, что формирование и развитие растительных сообществ обусловлено определенным сочетанием минерального состава почвы.

Содержание изучаемых элементов в надземной фитомассе представлено в табл. 2. Менее всего в почве содержалось кадмия, а более всего – марганца. Убывающий ряд по содержанию тяжелых металлов можно представить следующим образом: Mn > Fe > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cr > Cd.

Амплитуда варьирования по содержанию тяжелых металлов в растениях между максимумом и минимумом имела разные значения. Максимальное варьирование отмечено у цинка и никеля – 4,0–4,7. Для остальных тяжелых металлов эти значения были в пределе 1–2 раз. Отсюда следует, что варьирование содержания ТМ в травостое значительно меньше, чем в почве.

В ходе исследований выявлены различия по концентрации изучаемых элементов в травостое отдельных ассоциаций. Максимальное содержание тяжелых металлов в травостое *Phalaridetum arundinaceae* и *Junco-Deschampsietum cespitosae*.

Соотношение между марганцем и железом в растениях составляло от 1,2 до 3,5. Минимальные и максимальные значения отмечены соответственно для *Deschampsietum cespitosae* и *Caricetum gracilis*. Эти соотношения совершенно не совпадают с данными для почвы.

В растениях соотношение между цинком и медью составляли 2,8–5,6. Минимальные и максимальные значения были выявлены для *Trifolium repens* и *Junco-Deschampsietum cespitosae*.

Результаты исследований показали, что для травостоя убывающие ряды тяжелых элементов совершенно другие по сравнению с почвой (табл. 3).

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в почве луговых экосистем в пойме р. Сож Ветковского района, абс.-сух. сост., мг/кг

Ассоциация	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Ni	Co	Cd	Cr
<i>Deschampsietum cespitosae</i>	246,12 ± 29,53	67,52 ± 6,07	2,36 ± 0,19	1,7 ± 0,14	1,39 ± 0,12	0,98 ± 0,04	0,37 ± 0,019	<0,07	<0,016
Базальное сообщество <i>Trifolium repens</i>	190,18 ± 20,92	32,94 ± 2,64	3,82 ± 0,19	1,3 ± 0,11	0,68 ± 0,027	0,76 ± 0,03	0,38 ± 0,015	<0,07	<0,016
<i>Caricetum gracilis</i>	49,22 ± 5,44	56,29 ± 6,19	1,12 ± 0,09	0,84 ± 0,08	0,36 ± 0,03	0,37 ± 0,03	0,29 ± 0,02	<0,07	<0,016
<i>Junco-Deschampsietum cespitosae</i>	299,38 ± 35,92	73,14 ± 5,84	2,57 ± 0,15	3,75 ± 0,22	2,41 ± 0,12	0,71 ± 0,04	0,36 ± 0,02	<0,07	<0,016
<i>Poo-Festucetum pratensis</i>	314,2 ± 34,5	75,12 ± 6,2	3,68 ± 0,18	1,51 ± 0,09	1,34 ± 0,08	0,92 ± 0,05	0,48 ± 0,03	<0,07	<0,016
<i>Caricetum gracilis</i>	70,6 ± 5,6	64,17 ± 5,2	1,95 ± 0,11	0,7 ± 0,03	0,57 ± 0,03	0,46 ± 0,02	0,35 ± 0,014	<0,07	<0,016
<i>Phalaridetum arundinaceae</i>	295,45 ± 32,5	70,84 ± 5,66	3,12 ± 0,15	1,87 ± 0,09	1,34 ± 0,06	0,8 ± 0,04	0,41 ± 0,02	<0,07	<0,016
Максимум	314,2	75,12	3,82	3,75	2,41	0,98	0,48	0,07	0,016
Минимум	49,22	32,94	1,12	0,7	0,36	0,37	0,29	0,07	0,016
Среднее значение	209,31	62,86	2,66	1,67	1,16	0,71	0,38	0,07	0,016

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в надземной фитомассе луговых экосистем в пойме р. Сож Ветковского района, абс.-сух. сост., мг/кг

Ассоциация	Mn	Fe	Zn	Cu	Ni	Pb	Co	Cd	Cr
<i>Deschampsietum cespitosae</i>	167,52 ± 15,1	137,36 ± 12,4	18,04 ± 0,90	4,92 ± 0,29	0,39 ± 0,02	<0,03	<0,02	<0,01	<0,014
Базальное сообщество <i>Trifolium repens</i>	190,04 ± 20,9	120,94 ± 10,8	11,68 ± 0,80	4,12 ± 0,11	0,16 ± 0,008	<0,03	<0,02	<0,01	<0,014
<i>Caricetum gracilis</i>	320,28 ± 35,23	90,62 ± 8,15	24,72 ± 1,48	7,16 ± 0,36	0,27 ± 0,014	<0,03	<0,02	<0,01	<0,014
<i>Juncodeschampsietum cespitosae</i>	408,34 ± 44,8	179,74 ± 16,1	55,29 ± 4,40	9,85 ± 0,69	0,11 ± 0,004	<0,03	<0,02	<0,01	<0,014
<i>Poo-Festucetum pratensis</i>	371,7 ± 40,8	153,88 ± 13,8	28,11 ± 1,96	7,22 ± 0,36	0,34 ± 0,017	<0,03	<0,02	<0,01	<0,014
<i>Caricetum gracilis</i>	309,52 ± 33,9	107,63 ± 9,68	31,79 ± 3,02	6,1 ± 0,48	0,39 ± 0,02	<0,03	<0,02	<0,01	<0,014
<i>Phalaridetum arundinaceae</i>	360,3 ± 32,43	162,22 ± 14,6	35,12 ± 2,45	9,14 ± 0,36	0,44 ± 0,018	<0,03	<0,02	<0,01	<0,014
Максимум	408,3	179,7	55,3	9,9	0,44	0,03	0,02	0,01	0,01
Минимум	167,5	90,6	11,7	4,1	0,11	0,03	0,02	0,01	0,01
Среднее значение	304,0	136,1	29,3	6,9	0,30	0,03	0,02	0,01	0,01

Таблица 3 – Убывающие ряды по содержанию тяжелых металлов для травостоя и почвы поймы р. Сож Ветковского района

Объект	Элементы								
	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Ni	Co	Cd	Cr
Почва	Fe	Mn	Zn	Pb	Cu	Ni	Co	Cd	Cr
Растения	Mn	Fe	Zn	Cu	Ni	Pb	Co	Cd	Cr

Определение содержания тяжелых металлов в почве и растениях позволило определить значения коэффициентов накопления, или КН (табл. 4). Размерность (мг/кг / мг/кг) позволяет оценить соотношение между содержанием ТМ в почве и в травостое ассоциаций. Значения КН варьировали от 0,008 до 19,88.

В порядке убывания КН элементы можно расположить в следующем порядке: Cu > Zn > Fe > Ni > Cd > Cr > Co > Pb. Различия между крайними элементами ряда, то есть медью и свинцом, между максимумом и минимумом составили более 2000 раз.

Амплитуда варьирования по величине КН составляла для меди, цинка, никеля и свинца более 5 раз. Для марганца и железа варьирование составляло от 2 до 4 раз, кадмия, хрома, кобальта 1–1,6.

В ходе исследований выявлены различия по концентрации изучаемых элементов в травостое отдельных ассоциаций. Максимальное содержание тяжелых металлов было в травостое *Caricetum gracilis* 3-го объекта и *Caricetum gracilis* 6-го объекта.

#### Заключение

Почвы различных фитоценозов существенно различаются по содержанию тяжелых элементов. Среднее содержание изучаемых элементов в почве варьировало от 314,2 до 0,016 мг/кг.

Убывающий ряд по среднему содержанию тяжелых металлов в почве луговых экосистем может быть представлен следующим образом: Fe > Mn > Zn > Pb > Cu > Ni > Co > Cd > Cr.

Различия между наибольшим и наименьшим содержанием тяжелых металлов в почве составляют для луговых экосистем поймы р. Сож Ветковского района более 13 тысяч раз.

Необходимо отметить, что с увеличением содержания тяжелого металла в почве растет вариабельность данного показателя. Наибольшая амплитуда варьирования выявлена для марганца, железа, свинца, меди и цинка.

Изучаемые фитоценозы представлены следующими сообществами: *Deschampsietum cespitosae*, *Trifolium repens*, *Caricetum gracilis*, *Junco-Deschampsietum cespitosae*, *Poo-Festucetum pratensis*, *Phalaridetum arundinaceae*.

Выявлены существенные различия по содержанию тяжелых металлов в почве отдельных фитоценозов. Установлена более высокая концентрация изучаемых элементов в почвах ассоциации *Poo-Festucetum pratensis* и *Phalaridetum arundinaceae*.

Содержание тяжелых металлов в почве варьирует в более широких пределах по сравнению с растениями. Амплитуда варьирования тяжелых метал-

**Таблица 4 – Коэффициенты накопления тяжелых металлов фитомассой луговых экосистем в пойме р. Сож Ветковского района, мг/кг / мг/кг**

Номер объекта, ассоциация	Cu	Zn	Mn	Fe	Ni	Cd	Cr	Co	Pb
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. <i>Deschampsietum cespitosae</i>	3,54	7,64	2,48	0,56	0,40	0,143	0,088	0,054	0,018
2. Базальное сообщество <i>Trifolium repens</i>	6,05	3,05	5,76	0,63	0,21	0,143	0,088	0,053	0,023
3. <i>Caricetum gracilis</i>	19,88	6,39	5,69	1,84	0,73	0,143	0,088	0,069	0,036
4. <i>Junco-Deschampsietum cespitosae</i>	4,08	3,83	5,58	0,6	0,16	0,143	0,088	0,051	0,008
5. <i>Poo-Festucetum pratensis</i>	5,38	7,65	4,94	0,49	0,37	0,143	0,088	0,042	0,02
6. <i>Caricetum gracilis</i>	10,7	16,3	4,82	1,52	0,84	0,143	0,088	0,057	0,043
7. <i>Phalaridetum arundinaceae</i>	6,82	11,25	5,08	0,54	0,55	0,143	0,088	0,049	0,016
Максимум	19,88	16,3	5,76	1,84	0,84	0,143	0,088	0,069	0,043
Минимум	3,54	3,05	2,48	0,49	0,16	0,143	0,088	0,042	0,008
Среднее значение	8,06	8,01	4,9	0,88	0,47	0,143	0,088	0,054	0,023

лов в растениях значительно меньше, чем в почвах. Это может быть связано с относительной однородностью растительного покрова.

Среднее содержание тяжелых металлов в травостое варьировало в пределах 0,01–304 мг/кг. Убывающий ряд по среднему содержанию тяжелых металлов в травостое можно представить следующим образом:  $Mn > Fe > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd > Cr$ . Значения КН варьи-

ровали от 0,008 до 19,88. В порядке убывания КН элементы можно расположить в следующем порядке:  $Cu > Zn > Fe > Ni > Cd > Cr > Co > Pb$ . Различия между крайними элементами ряда, то есть медью и свинцом, между максимумом и минимумом составили более 2000 раз.

Полученные данные свидетельствуют о специфичности почвенных условий применительно к формирующимся на них растительных ассоциациях.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Вернадский, В. И. Биосфера и ноосфера / В. И. Вернадский. – М. : Наука, 1989. – 261 с.
2. Вернадский, В. И. Живое вещество / В. И. Вернадский. – М. : Наука, 1978. – 358 с.
3. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растения / Ю. В. Алексеев. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 142 с.
4. Микроэлементозы человека / А. П. Авцын, А. А. Жаворонков, М. А. Риш, Л. С. Строчкова. – М. : Медицина, 1991. – 496 с.
5. Попова, Л. Ф. Оценка загрязнения тяжелыми металлами типичных почв Архангельска / Л. Ф. Попова // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 8–4. – С. 849–853. – Режим доступа: URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34682> (дата обращения: 18.11.2018).
6. Geochemical Assessment of Heavy Metals Pollution of Urban Soils / W. Grzebisz, L. Cieřła, J. Komisarek, J. Potarzycki // *Polish Journal of Environmental Studies*. – 2002. – Vol. 11 (5). – P. 493–499.
7. Dragović, S. Heavy metals in soils: distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources / S. Dragović, N. Mihailović, B. Gajić // *Chemosphere*. – 2008. – V. 74. – P. 491–495.
8. Пейве, Я. В. Биохимия почв / Я. В. Пейве. – М., 1961. – 422 с.
9. Михальчук, Н. В. Подвижные формы тяжелых металлов и микроэлементов в почвах карбонатного ряда юго-запада Беларуси / Н. В. Михальчук // *Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук*. – 2017. – № 3. – С. 90–97.
10. Иванов, В. В. Геохимия рассеянных элементов, Ga, Ge, Gd, In, Tl в гидротермальных месторождениях / В. В. Иванов. – М., 1966. – 375 с.
11. Позняк, С. С. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах и растительности Центральной зоны Республики Беларусь / С. С. Позняк // *Изв. Тульского гос. ун-та. Естественные науки*. – 2011. – Вып. 1. – С. 254–264.
12. Позняк, С. С. Содержание некоторых тяжелых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова / С. С. Позняк // *Вестн. Томского гос. ун-та. Биология*. – 2011. – № 1 (13). – С. 124–137.
13. Чертко, Н. К. Геохимия: учеб. пособие / Н. К. Чертко. – Минск : ТЕТРА СИСТЕМС, 2007. – 254 с.
14. Clemens, S. Toxic metal accumulation, Response to Exposure and Mechanisms of tolerant in plants / S. Clemens // *Biochemie*. – 2006. – № 88 (11). – P. 1707–1719.
15. Скальный, А. В. Микроэлементозы человека (диагностика и лечение): практ. рук. для врачей и студентов медицинских вузов / А. В. Скальный – М. : Научный мир, 1999. – 95 с.
16. Хотимченко, С. А. Токсиколого-гигиеническая характеристика некоторых приоритетных загрязнителей пищевых продуктов и разработка подходов к оценке их риска для здоровья населения : дис. ... д-ра мед. наук : 14.01.12 / С. А. Хотимченко. – М., 2001.
17. Методы анализа пищевых и биологически активных веществ (метод определения макро- и микроэлементов) / В. А. Тутельян [и др.]. – М. : ГЭОТАР-МЕД, 2004.
18. Heavy Metals in the Environment. Interface / Bradl H.B. (ed.) // *Science and Technology*. – London : Elsevier Ltd, 2005. – Vol. 6. – 269 p.



19. Тяжелые металлы компонентов луговых ценозов в условиях техногенной нагрузки / А. Д. Булохов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №3. – Режим доступа: URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=13337> (дата обращения: 23.07.2018).
20. Cebula, E. Effects of flooding in southern Poland on heavy metal concentrations in soils / E. Cebula, J. Ciba // Soil Use and Management. – 2005. – V. 21. – P. 348-351.
21. Результаты наблюдений Главного информационно-аналитического центра Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. – 2017.
22. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie / J. Braun-Blanquet. – Wien – New-York : Springer-Verlag, 1964. – 865 p.

Поступила 22.11.2018