

ВЛИЯНИЕ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭКОСИСТЕМЫ

УДК 549.25/.29:631.416:518.5:504.5(476.2-21Гомель)

Н. И. Дроздова, Т. В. Макаренко

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель, Республика Беларусь

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЯ» В УСЛОВИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН Г. ГОМЕЛЯ

Основными загрязнителями почв промзоны предприятия ОАО «Ратон» являются медь и свинец, для зоны ОАО «Гомельский химзавод» – медь. Для дикорастущих растений промышленных зон ряд поглощения элементов имеет вид: для площадки ОАО «Гомельский химзавод» $Ni > Zn > Cu > Cd > Pb$; для площадки ОАО «Ратон» $Ni > Cu > Zn > Cd > Pb$. Выявлено достоверное различие значений K_p меди и никеля для участков с различным типом растительных группировок (сем. Бобовые и сем. Мятликовых), в то же время, различия значений K_p цинка, свинца, кадмия носят случайный характер.

➤ **Ключевые слова:** *тяжелые металлы, растения, почвы, коэффициент перехода, ряды накопления.*

Введение

При оценке экологического состояния территории и разработке мероприятий по охране природной среды от загрязнения техногенными выбросами важное место занимает изучение поглощения тяжелых металлов растениями.

Известно, что при аэротехногенном загрязнении природной среды тяжелыми металлами возможны два основных пути их поступления в растения: из атмосферы – через листовую поверхность, из почвы – через корневую систему. При обычных концентрациях в почвенном растворе поглощение тяжелых металлов корнями растений является активным и контролируется метаболическими процессами внутри корней, при высоких концентрациях в их транспорте к корням растений преобладающую роль играет диффузия.

Поступление тяжелых металлов в растения через корневую систему зависит, прежде всего, от количества этих металлов в почве. Коэффициенты корреляции между содержанием металлов в растениях и средах при разных условиях (тип почвы, влажность, кислотность и др.) могут быть достаточно высоки – в некоторых случаях превышают величину 0,80. При этом отмечается как линейный, так и нелинейный характер возрастания содержания металлов в растениях при увеличении их концентрации в почве.

Учитывая неодинаковое физиологическое значение разных элементов, можно предположить, что интенсивность их вовлечения в этот процесс также неодинакова. Различные виды растений в значительной степени различаются по способности поглощать тяжелые металлы. Высшие растения меньше накапливают тяжелые металлы и менее устойчивы к повышенным концентрациям, чем низшие. Содержание избыточного количества тяжелых металлов в растительной массе может меняться в течение вегетационного периода. Одна из причин этого – неспособность потока, поступающего из почвы в растения, равномерно в течение всей вегетации насыщать тяжелыми металлами прирост биомассы, который в середине лета достигает максимума, и хотя темп их поступления более или менее равномерен, возникает так называемый «эффект разбавления».

Цель работы: изучить содержание и накопление тяжелых металлов в почвах и растениях в условиях промышленного загрязнения, определить коэффициенты перехода в системе «почва – растения» для прогнозирования изменений в состоянии почвенно-растительного покрова на городских промплощадках.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись образцы почвы и растительного материала, отобранных с пробных площадок, заложенных в промышленных зонах г. Гомеля (в районе ОАО «Гомельский химический завод» и ОАО «Ратон»).

Для закладки пробных площадок выделяли наиболее часто встречающиеся в напочвенном покрове растительные группировки. Отбор проб проводился в соответствии ГОСТ 17.4.3.01-83 [1], ГОСТ 28168-89 [2]. Отбор почвенных и растительных образцов на пробных площадях производился дважды: в июне (фаза активной вегетации) и в сентябре (период завершения активной вегетации).

Выделение подвижных форм проводили по методу Пейве и Ренькиса [3].

Навески проб растений вводили в тefлоновые емкости, заливали 7 мл концентрированной азотной кислоты и 1 мл 30% перекиси водорода. Разложение проб проводили по специальной программе в микроволновой системе разложения биологических проб Milestone ETHOS PLUS фирмы «Milestone» (Франция). Полученные кислотные вытяжки переносили в пластиковые вials объемом 50 мл и доводили объем до метки дистиллированной водой.

Элементный анализ проводили на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Elan-9000 в лаборатории масс-спектрометрии ГГУ им. Ф. Скорины.

В качестве параметра миграции химических токсикантов, в том числе и тяжелых металлов, применяется *коэффициент перехода* (K_{II}), представляющий собой отношение концентрации металла в растительном организме к концентрации подвижных форм металла в почвах) [4].

$$K_{II} = \frac{\text{Концентрация элемента в организме (мг / кг)}}{\text{Концентрация элемента в субстрате (мг / кг)}}$$

Результаты и их обсуждение

Для комплексной экологической оценки состояния почвенного и растительного покрова промышленных территорий интерес представляют не только сведения о количественном содержании элементов, но и коэффициенты их подвижности в почве, коэффициенты перехода в системе «почва–растения», которые позволяют, в значительной степени, учесть не только особенности техногенного влияния, но и специфику почвенных условий территории.

Для почвы промплощадок проведена оценка количественного содержания подвижных и валовых форм тяжелых металлов, на основании которых рассчитаны коэффициенты подвижности поллютантов в условиях техногенного влияния, а также изучены сезонные особенности содержания элементов.

На пробной площадке в районе ОАО «Ратон» содержание подвижных форм кадмия, никеля и цинка в летний период не превышало общесанитарных уровней ПДК (табл. 1). В случае меди для 14,3% проанализированных проб установлено превышение допустимой концентрации в 1,5 раза и более. Наибольший размах варьирования концентраций выявлен для цинка, хотя данный металл не является основным компонентом выбросов предприятий, находящихся возле заложенных площадок. Загрязнение почвы данной промплощадки имеет выраженную сезонную динамику. Содержание цинка и свинца увеличилось, в сравнении с летним периодом, в среднем, в 1,2–4,7 раза, меди – в 1,2–14,1 раза, кадмия – 1,1–2,2 раза. Повышение содержания металлов в почве в осенний период может быть связано со снижением поступления металлов в растения в период завершения активной вегетации, уменьшением проективного покрытия травостоя, и как следствие, увеличением поступления металлов непосредственно на поверхность почвы. В осенний период отмечено превышение нормативных уровней в 1,3–14,6 раза для подвижных форм меди для 92% проанализированных проб. Для цинка в 50% случаев зафиксировано превышение ПДК в 1,5 раза и более. Содержание подвижных форм свинца практически во всех образцах превышало допустимые концентрации в 1,5–6,2 раза. Содержание никеля и кадмия не выходило за рамки общесанитарных нормативов, однако в 58% проб установлено превышение фоновых концентраций кадмия.

Таким образом, приоритетными загрязнителями почвы в районе ОАО «Ратон» являются медь и свинец. По содержанию подвижных форм элементы образуют последовательность: $Cu > Pb > Zn > Cd > Ni$.

В районе ОАО «Гомельский химический завод» приоритетными загрязнителями почвы являлись подвижные формы меди, содержание которых превышало ПДК в 47,6% случаев в летний период и в 68,4% образцов осеннего отбора. Содержание цинка за весь период исследований не выходило за рамки фоновых значений. Для свинца было определено превышение значения общесанитарного допустимого уровня в 19% случаев. Концентрация кадмия в 9,5–21% случаев характеризовалась как повышенная. Сезонные изменения концентрации отмечены только для цинка: в пробах осеннего отбора содержание элемента увеличилось в 1,9 - 2,2 раза.

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве промышленных зон г. Гомеля
(мг/кг воздушно-сухой почвы)

Промзона/ сезон	Показатели	Концентрация тяжелых металлов				
		Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
ОАО «Ратон»/лето	Мин-Макс	2,021– 3,351	8,157– 8,174	4,141– 5,213	0,028– 0,051	1,272– 1,630
	Среднее	2,625	11,190	4,769	0,039	1,421
ОАО «Ратон»/осень	Мин-Макс	1,992– 43,740	8,232– 86,846	5,114– 28,283	0,033– 0,113	0,820– 1,863
	Среднее	11,853	30,880	11,337	0,065417	1,2835
ОАО «Гомельский хи- мический завод» / лето	Мин-Макс	1,559– 7,627	4,494– 11,683	2,148– 5,583	0,015– 0,054	0,373– 1,026
	Среднее	3,498	8,941	3,549	0,032	0,631
ОАО «Гомельский хи- мический завод» / осень	Мин-Макс	1,539– 8,148	9,397– 21,361	2,035– 6,978	0,009– 0,068	0,415– 1,014
	Среднее	4,396	13,931	4,894	0,039	0,675
ПДК [5, 6]		3,0	37,0	6,0	0,3*	4,0

Примечание: 0,3* – ОДК по данным [7].

Для почвы промплощадки ОАО «Гомельский химический завод» ряд элементов по степени загрязнения имеет вид: $Cu > Cd > Pb > Zn \approx Ni$.

Анализ показывает, что ряды металлов, построенные на основании содержания их подвижных форм для рассматриваемых промышленных площадок, имеют определенные отличия, что связано как с различием в источниках поступления загрязняющих веществ в почвы города, так и особенностями физико-химических характеристик почвы.

Оценку содержания валовых форм тяжелых металлов производили с учетом ориентировочно допустимых концентраций [5, 6].

Содержание валовых форм кадмия в почвах пробных площадок в районе ОАО «Гомельский химический завод» и ОАО «Ратон» в целом не превышало значений ОДК (0,5 мг/кг) и составляло соответственно 0,015–0,107 и 0,172–0,464 мг/кг почвы. В единичных образцах почвы в районе ОАО «Ратон» зафиксировано превышение ОДК до 2,5 раз.

Концентрация валовых форм свинца изменялась в пределах 26,242–60,003 и 7,685–14,026 мг/кг для территорий ОАО «Ратон» и ОАО «Гомельский химический завод» соответственно. Превышение ОДК по валовым формам в 1,2–7,0 раз отмечали для 90% образцов почв с площадки в районе ОАО «Ратон», где концентрации свинца в единичных образцах составляла до 220,747 мг/кг.

Для промышленной экспериментальной площадки «Гомельский химический завод» не установлено превышений ОДК меди, валовые концентрации цинка только в 2 пробах превышали ОДК в 1,2 раза. Наиболее загрязненными оказались почвы экспериментальной площадки ОАО «Ратон», где установлено превышение ОДК всех рассматриваемых элементов: меди – в 33% проб в 1,2–3,2 раза, цинка – в 56% проб в 1,2–5,0 раз, никеля – в 3,6 раза только в одной пробе.

В табл. 2 представлены значения коэффициентов подвижности элементов в почве промышленных зон. Коэффициент подвижности рассчитывали как отношение содержания подвижных форм элементов к его валовым концентрациям.

Таблица 2

Значения коэффициентов подвижности элементов в почве

Значение	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
min–max	0,035–0,630	0,035–0,954	0,025–0,590	0,029–0,820	0,012–0,743
среднее	0,285	0,272	0,334	0,411	0,223

Таким образом, по средним значениям коэффициентов подвижности можно расположить рассматриваемые элементы в последовательности: $Cd > Pb > Cu > Zn > Ni$. Представленный ряд подвижности элементов и их значительная вариация в совокупности отражают не только особенности почвенных характеристик, но и тип загрязнителей данных промышленных территории.

В табл. 3 представлены результаты количественного определения содержания изучаемых металлов в растениях и соответствующие коэффициенты перехода элементов.

Как показывает анализ результатов, в целом, значения коэффициента перехода для элементов значительно варьируют, что отражает не только характер накопления элемента в растениях разных семейств, но и их неравномерное содержание в почвах внутри исследуемых площадок.

Максимальное значение коэффициента перехода для цинка в системе «почва–растения» промышленных территорий достигало значений 15,50 (лето) и 17,61 (осень), что говорит о сильном биологическом захвате данного элемента, несмотря на аномально низкие концентрации его в почве. Это объясняется особо важной ролью цинка в функционировании многих ферментативных систем. Значение K_p меди значительно варьировало в летний и осенний периоды, достигая для единичных проб величины 118,49 (лето) и 19,21 (осень). Значение коэффициентов перехода никеля изменялось в пределах 0,61–34,48, что превышало среднестатистические показатели для данных элементов ($K_{II} - O_p$ по Перельману). Такие высокие значения K_p свидетельствуют о сильной корреляции с общими уровнем загрязнения почвы данным элементом и, вероятно, слабыми механизмами защиты растений. Коэффициенты поглощения кадмия находились в пределах 0,19–20,08, достигая в единичной пробе значения 1403,8.

Свинец относится к элементам относительно слабого захвата на территориях без усиленного техногенного воздействия. Но для промышленных территорий K_p свинца составляли 0,02–9,16, что превышает среднестатистические показатели в десятки и сотни раз (по Перельману $K_{II} - 0,00n$) и коррелирует с уровнем загрязненности почв.

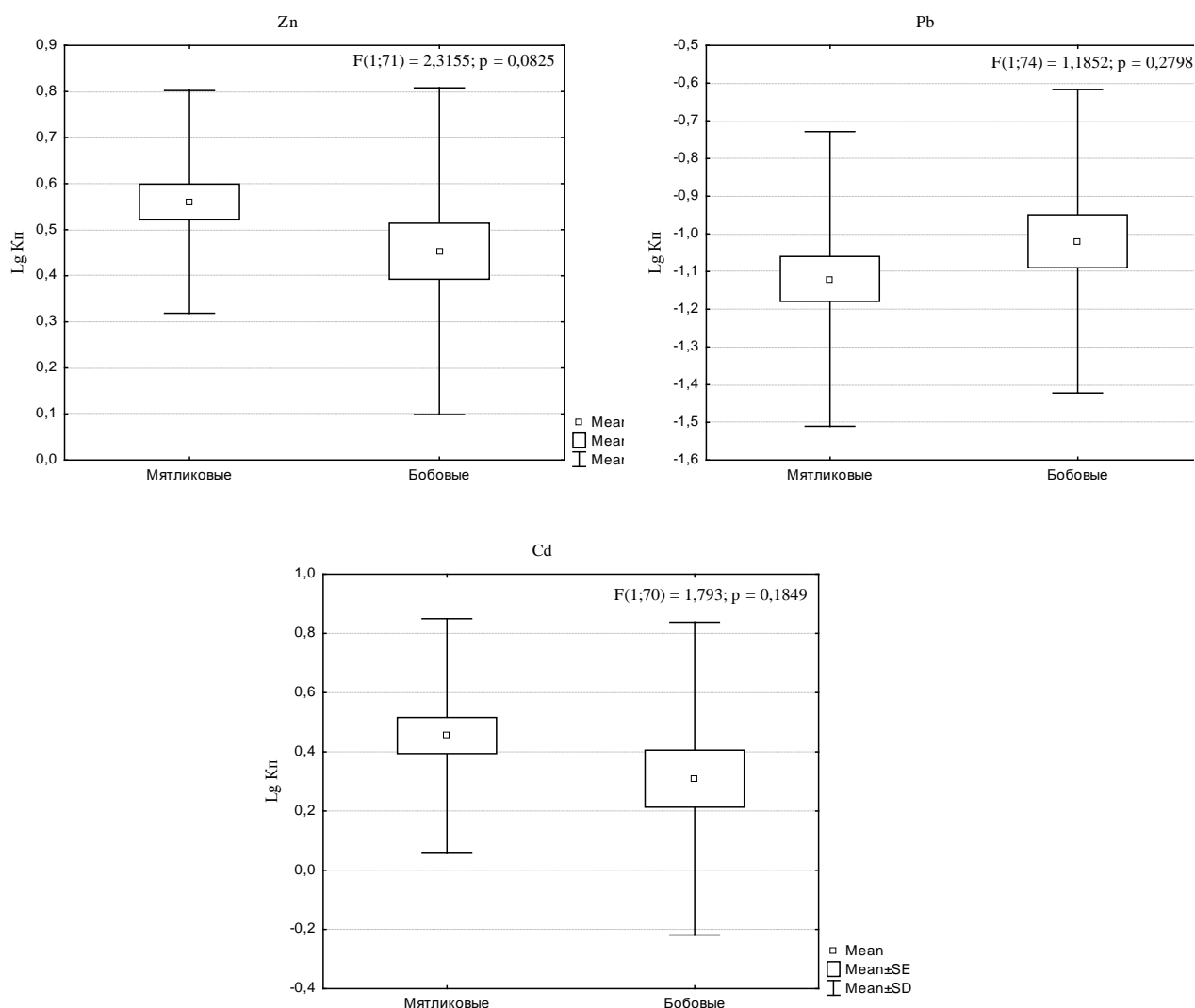


Рисунок 1 – Графическая интерпретация однофакторного дисперсионного анализа для K_p цинка, свинца и кадмия в растениях сем. Бобовых и Мятликовых

Таким образом, в целом для дикорастущих растений, произрастающих в промышленных зонах, ряд поглощения элементов имеет вид: для площадки ОАО «Гомельский химзавод» $Ni > Zn > Cu > Cd > Pb$; для площадки ОАО «Ратон» $Ni > Cu > Zn > Cd > Pb$.

Таблица 3

Содержание и коэффициенты перехода тяжелых металлов в растения, отобранных на промплощадках

Агро-ботаническая группа	Содержание тяжелых металлов в растениях, мг/кг, в абс.-сух. сост.							Коэффициент перехода (K _п)							
	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
	ОАО «Гомельский химический завод», фаза активной вегетации (июнь 2014 г)														
сем. Мятликовые	3,91-333,00	20,56-97,44	0,14-2,27	0,03-22,46	1,24-27,55	0,67-118,49	2,78-17,31	0,03-1,06	0,96-143,81						
	27,52	53,82	0,53	2,02	7,95	10,12	6,45	0,17	32,09						13,38
сем. Бобовые	4,51-6,87	31,42-56,42	0,22-0,31	0,07-0,40	6,47-8,31	1,33-2,89	4,58-7,03	0,06-0,12	4,93-11,11						6,99-13,03
	5,56	42,14	0,25	0,19	7,32	2,18	5,61	0,09	7,02						9,45
	ОАО «Гомельский химический завод», фаза завершения вегетации (сентябрь 2014 г)														
сем. Мятликовые	9,48-40,38	47,22-120,39	0,56-2,02	0,07-0,42	3,93-16,32	1,34-11,61	3,67-17,61	0,09-0,33	1,64-11,88						5,53-25,30
	17,48	109,74	1,00	0,27	8,27	4,08	8,82	0,19	6,00						12,32
сем. Бобовые	7,70-24,90	18,67-97,40	0,19-1,28	0,01-0,78	4,18-19,29	1,38-10,01	1,36-7,18	0,06-0,54	0,22-20,08						5,15-26,81
	12,83	58,74	0,77	0,19	7,97	3,89	4,18	0,20	5,84						12,75
	ОАО «Ратон», фаза активной вегетации (июнь 2014 г)														
сем. Мятликовые	3,15-31,96	17,88-47,47	0,09-1,84	0,02-0,22	0,86-47,49	0,99-14,00	1,28-5,34	0,02-0,43	0,63-7,62						0,61-34,39
	6,53	25,60	0,40	0,09	8,70	2,62	2,63	0,09	2,22						6,29
сем. Бобовые	6,21-9,37	23,12-37,09	0,12-0,40	0,03-0,36	1,90-4,39	2,33-3,01	2,24-4,29	0,02-0,08	0,89-7,74						1,36-2,69
	7,43	31,74	0,214667	0,14	2,97	2,71	2,99	0,04	3,31						1,91
	ОАО «Ратон», фаза завершения вегетации (сентябрь 2014 г)														
сем. Бобовые	9,01-38,26	19,67-83,85	0,63-5,13	0,02-0,32	1,93-10,23	0,27-19,21	0,40-8,54	0,03-9,16	0,36-11,58						1,83-6,51
	17,25	39,89	1,61	0,13	5,46	3,28	2,42	0,92	3,04						4,36

Для проверки гипотезы о влиянии типа растительной группировки на различия в коэффициентах перехода элементов после процедуры первичного анализа в последующую статистическую обработку были включены парные измерения в количестве 82 проб. Из представленных результатов обработки (рис. 1, 2) следует, что для значений K_p цинка, свинца, кадмия для участков с группировками растений сем. Бобовые и сем. Мятликовых нулевая гипотеза о равенстве средних подтверждается и различия носят случайный характер ($F_{эмп.} < F_{крит.}$ при уровне значимости $p > 0,05$). Для K_p меди и никеля указанная нулевая гипотеза о равенстве средних отвергается и принимается альтернативная гипотеза, которая свидетельствует о достоверном различии средних ($F_{эмп.} \geq F_{крит.}$ при уровне значимости $p < 0,05$).

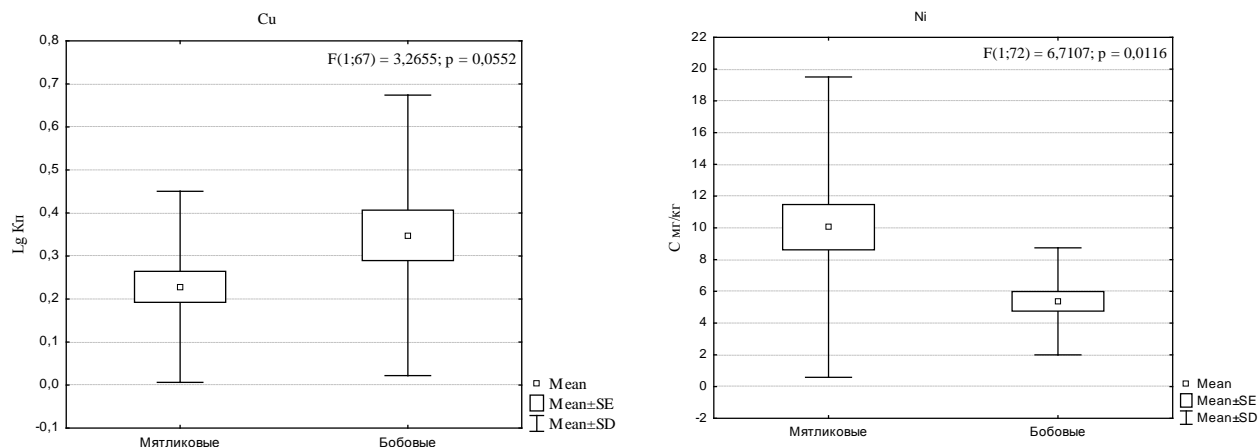


Рисунок 2 – Графическая интерпретация однофакторного дисперсионного анализа для K_p меди и никеля в растениях сем. Бобовых и Мятликовых

Заключение

Только содержание никеля и кадмия не выходило за рамки общесанитарных норм на участке у предприятия «Ратон». Для площадки у Химзавода превышение ПДК характерно для меди, свинца и кадмия.

Основными загрязнителями почв промзоны предприятия ОАО «Ратон» являются медь и свинец, для зоны ОАО «Гомельский химзавод» – медь. Ряды содержания металлов для разных промзон имеют выраженные отличия, что свидетельствует о разных путях поступления металлов в почвы г. Гомеля и о различии в спектрах загрязнителей в выбросах разных предприятий г. Гомеля. Для участка у ОАО «Ратон» содержание металлов имеет выраженную сезонную динамику, что может быть следствием выноса элементов из почв растениями и большим поступлении металлов непосредственно на поверхность почв из-за угнетенного состояния растительного покрова в конце периода вегетации. Отсутствие сезонной динамики на площадке у ОАО «Гомельский химзавод» требует дальнейшего детального изучения.

Для дикорастущих растений промышленных зон ряд поглощения элементов имеет вид: для площадки ОАО «Гомельский химзавод» $Ni > Zn > Cu > Cd > Pb$; для площадки ОАО «Ратон» $Ni > Cu > Zn > Cd > Pb$.

Значения коэффициентов перехода (K_p) в системе «почва–растения» для элементов значительно варьируют, что отражает не только специфический характер накопления элементов растениями разных агроботанических групп, но и их неравномерное содержание в почвах изучаемой территории. Для растений, произрастающих в различных промышленных зонах, ряд поглощения элементов различается только по положению цинка и меди. Установлено, что в условиях техногенного влияния коэффициенты перехода элементов характеризуются более высокими значениями, чем для нетрансформированных территорий.

Выявлено достоверное различие значений K_p меди и никеля для участков с различным типом растительных группировок (сем. Бобовые и сем. Мятликовых), в то же время, различия значений K_p цинка, свинца и кадмия носят случайный характер.

Список литературы

- ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – Введен 01.07.84. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 4 с.

2. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. – Введен 01.04.90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 7 с.
3. Минеев, В. Г. Практикум по агрохимии: учеб. пособие для ун-тов по спец. «Агрохимия и почвоведение» / В. Г. Минеев. – Москва: МГУ, 1989. – 303 с.
4. Никаноров, А. М. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 311 с.
5. ГН 2.1.7.12 -1-2004. Перечень предельно-допустимых концентраций ПДК и ориентировочно-допустимых концентраций ОДК химических веществ в почве. Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 25 февраля 2004 года № 28: Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2004. – Введен 01.09.2004. – Минск: Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 2004. – 20 с.
6. Об утверждении нормативов предельно-допустимых концентраций подвижных форм никеля, меди и валового содержания свинца в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов. Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 19 ноября 2009 года № 125: Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2009. – Введен 21.10.2009. – Минск: Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 2009. – 2 с.
7. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель РБ: методические указания // под ред. акад. И.М. Богдевича. – Минск, 2006. – 236 с.

N. I. Drozdova, T. V. Makarenko

THE ANALYSIS OF HEAVY METALS ACCUMULATION PECULIARITIES IN THE SYSTEM “SOIL – PLANT” IN INDUSTRIAL ZONES OF GOMEL

Copper and lead are the main soil pollutants of industrial zone PLC «Raton» enterprise, while copper is that one for the zone of «Gomel Chemical Plant». The series of industrial zones absorption elements (as far as wild plants are concerned) is: Ni> Zn> Cu> Cd> Pb for the site of PLC «Gomel Chemical Plant»; and Ni> Cu> Zn> Cd> Pb for the one of PLC «Raton» enterprise. Significant value differences of copper and nickel Kn for participants with different types of plant communities ('Legumes' and 'Poa' families) were revealed, while the differences between the values of zinc, lead and cadmium Kn are random.