

**А.В. ХАДАНОВИЧ, В.Г. СВИРИДЕНКО,  
Н.И. ДРОЗДОВА**

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ СВИНЦА И КАДМИЯ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ГОМЕЛЬСКОГО РЕГИОНА**

*В настоящей работе определено содержание ионов свинца и кадмия в почвах и растениях естественного фитоценоза для различных придорожных участков. Установлен фоновый уровень содержания тяжелых металлов в вегетативных частях растений представителей пяти семейств, произрастающих на расстоянии 100 метров от автомобильных трасс. На большом фактическом материале установлена корреляция распределения тяжелых металлов в почвах и растениях в исследуемых районах. Единственным объективным показателем наличия в почве соответствующего участка доступного количества для растений тяжелых металлов является только конкретный вид растений, по накоплению в фитомассе того или иного элемента можно судить об экологически значимом содержании его в почве.*

### **Введение**

Почвы и растения вблизи автодорог могут характеризоваться повышенным содержанием тяжелых металлов вследствие загрязнения их газопылевыми выбросами автотранспорта [1–3]. Тяжелые металлы, поступающие из различных источников, попадают в конечном счете на поверхность почвы. И их дальнейшая судьба зависит от ее физических и химических свойств [4, 5]. Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов, особенно ионов тяжелых металлов, в почвах гораздо дол-

ше, чем в других частях биосферы. Ионы тяжелых металлов обладают различной подвижностью в почвах по горизонтали и по вертикали, поэтому распределение их по глубине почвенного профиля неоднородно [6, 7]. Их содержание на различном удалении от автотранспортных магистралей изменяется.

**Целью настоящей работы** являлось проведение аналитических исследований почв и растений на содержание ионов кадмия и свинца вдоль автомагистралей с различным по интенсивности движением.

**Объектом исследований** служили образцы дерново-подзолистой слабоподзоленной почвы на видоизмененных связных песках, подстилаемых моренными супесями, отобранные вдоль автомагистралей из горизонта А1 на расстоянии 8, 32 и 100 м на пробных площадях всех ключевых участков в исследуемых элементарных ландшафтах. Экспериментальные участки предварительно закладывались на 15 площадях размером 25 м<sup>2</sup> с разной техногенной нагрузкой (величина грузопотока, авт./ч составила 1360; 570; 1510 для автомагистралей Гомель – Калинковичи, Гомель – Ветка, Гомель – Чернигов соответственно). С каждой площадки отбирали одну объединенную пробу, состоящую из 20 точечных заборов. Глубина отбора составляла 15 – 20 см, а масса объединенной пробы – около 500 г. Каждая средняя проба помещалась в маркированные пакеты [8]. В образцах почв определяли основные агрохимические показатели, количество валовых и подвижных форм тяжелых металлов.

Растительные образцы отбирались в мае – июле с 8 до 10 часов утра в сухую погоду дважды в месяц с одновременным забором почвы. Наиболее часто встречающиеся в исследуемых зонах растения принадлежали к пяти семействам: сем. Розоцветные – Rosaceae, сем. Мятликовые – Poaceae, сем. Бобовые – Fabaceae, сем. Подорожниковые – Plantaginaceae, сем. Сложноцветные (астровые) – Compositae (Asteraceae). Соотношение видов на пробных площадках было постоянным на протяжении эксперимента. Определяли содержание тяжелых металлов в надземной фитомассе и корневой системе травянистых растений. Растительный образец массой 5 г озоляли в муфельной печи при температуре красного каления (550 – 600°C). Озоленный остаток обрабатывали на песчаной бане 2 мл азотной и 3 мл соляной концентрированными кислотами, выпаривали до исчезновения оксидов азота, сухой остаток растворяли в 0,1 М растворе соляной кислоты.

Содержание ионов тяжелых металлов в почвах и растениях определяли вольтамперометрическим методом, с помощью которого принципиально возможно количественно определять любые соединения, способные электроокисляться или электровосстанавливаться, косвенными приемами исследовать также электрохимически неактивные вещества. Определение исследуемых элементов проводили из одной пробы на аммонийно-нитратном фоне при различных значениях рН: свинец – при

pH 1; кадмий – при pH 5,2. Получали четкие пики полярограмм с потенциалами: свинец – -0,8 В; кадмий – -0,6 В относительно донной ртути [8].

### Результаты и обсуждение

Агрохимические показатели исследуемых почв характеризовались следующими величинами: значение pH исследуемых почв колебалось от 5,50 до 5,83 единиц, содержание гумуса в среднем составляло 1,63%, содержание подвижных фосфатов – 8,20 мг/100 г почвы).

В таблице 1 приведено содержание тяжелых металлов в исследуемых почвах, отобранных на расстоянии 100 метров от автомагистралей.

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почвах

Автомагистраль	Свинец		Кадмий	
	1	2	1	2
Гомель-Ветка	16,8	2,2	0,4	0,2
Гомель-Калинковичи	18,6	1,8	0,5	0,4
Гомель-Чернигов	19,8	3,5	0,6	0,5
ОДК [9, 10]	32,0	6,0	0,5	0,3

#### Примечание

- 1 – содержание валовых форм;  
2 – содержание подвижных форм.

Наименьшим содержанием металлов-загрязнителей характеризовались почвы вдоль трассы Гомель – Ветка, где концентрация всех исследуемых элементов в среднем составляла: свинца – 2,2 мг/кг, кадмия – 0,2 мг/кг. Полученные результаты различия содержания подвижных форм свинца вдоль трассы Гомель – Ветка и трассы Гомель – Калинковичи свидетельствуют не только о связи загрязнения тяжелым металлом почв с грузопотоком автотранспорта, но и с возможным вкладом аэрозольных поступлений городского Северного промышленного комплекса. Наибольшее содержание подвижных форм фиксировалось в образцах почв, отобранных вдоль трассы Гомель–Чернигов. Содержание исследуемых катионов составляло: свинца – 3,5 мг/кг, кадмия – 0,5 мг/кг. Проведенный анализ валовых и подвижных форм в почвах придорожной экосистемы показал, что на расстоянии 100 м значения содержания тяжелых металлов в почвах практически не превышали величин ОДК. Данные показатели приняли за фоновые. В таблице 2 приведены результаты исследований по содержанию подвижных форм в почвах придорожных экосистем.

Таблица 2

**Содержание подвижных форм ионов тяжелых металлов (мг/кг)  
в почвах придорожных экосистем**

Автомагистраль	Свинец		Кадмий	
	1	2	1	2
Гомель-Ветка	8,96	8,08	0,56	0,34
Гомель-Калинковичи	4,96	5,40	0,92	0,63
Гомель-Чернигов	15,16	12,24	1,02	0,59
ОДК [9, 10]	6,0		0,3	

**Примечание.** Расстояние:

1 – 8 м от автомагистрали;

2 – 32 м от автомагистрали.

ОДК – ориентировочно допустимые концентрации.

Полученные данные свидетельствуют об отсутствии четких закономерностей изменения содержания ионов тяжелых металлов в почвах от расстояния до трассы, что, по всей вероятности, связано с другими источниками загрязнения.

Результаты исследований по содержанию ионов тяжелых металлов в надземных частях различных видов растений, отобранных на расстоянии 100 м от автомагистралей, показали, что доступность исследуемых элементов для растений зависит от их биологической принадлежности. Один и тот же вид растений в разных экологических условиях накапливает разные количества тяжелых металлов. Анализ данных по содержанию ионов кадмия в изученных видах растений, отобранных в разных условиях, показал, что в отдельных семействах превышение максимального содержания над минимальным до 4 раз характерно для семейства Сложноцветных, что позволяет отнести их к качественно информативным биообъектам. Они могут быть использованы в качестве концентраторов данных элементов в системе эколого-биогеохимического мониторинга окружающей среды.

Изучая зависимость содержания тяжелых металлов в растениях от содержания данного элемента в почве, был вычислен коэффициент накопления – отношение содержания элемента в надземной части растений к его содержанию в почве, позволяющий косвенно судить о степени доступности элемента в почве для растений и о поведении его в системе *почва – растение*. В таблице 3 представлены значения коэффициентов накопления тяжелых металлов в надземной части дикорастущих растений.

Таблица 3

**Значения коэффициентов накопления ионов кадмия и свинца**

Вид растений	Кадмий			Свинец		
	1	2	3	1	2	3
сем. Мятликовые						
Кострец безостый	0,65	0,38	0,24	0,96	1,18	0,75
Ежа сборная	0,45	0,25	0,24	1,27	1,51	0,88

Окончание табл. 3

Вид растений	Кадмий			Свинец		
	1	2	3	1	2	3
сем. Розоцветные						
Лапчатка серебристая	1,05	0,48	0,44	1,12	1,28	0,73
Лапчатка гусиная	1,15	0,53	0,52	1,05	1,29	0,77
сем. Бобовые						
Клевер ползучий	1,5	0,63	0,64	1,41	1,78	0,99
Мышиный горошек	1,5	0,55	0,56	1,39	1,72	0,93
сем. Подорожниковые						
Подорожник большой	0,8	0,35	0,32	1,46	1,73	1,04
Подорожник ланцетолистный	0,65	0,28	0,2	1,51	1,73	0,96
сем. Сложноцветные						
Ромашка непахучая	0,10	0,08	0,04	0,47	0,54	0,29
Тысячелистник обыкновенный	0,40	0,01	0,12	0,55	0,66	0,38

**Примечание.** Автомагистралі:

- 1 – Гомель– Ветка;
- 2 – Гомель– Калинковичи;
- 3 – Гомель– Чернигов.

Распределение ионов кадмия в растениях, принадлежащих различным семействам, неравномерное. Значения содержания элемента варьировали от 0,02 (сем. Сложноцветные) до 0,34 мг/кг (сем. Бобовые) на пробных площадках; содержание ионов свинца варьировало от 1,02 (сем. Сложноцветные) до 3,65 мг/кг (сем. Подорожниковые).

По результатам анализа составлены ряды накопления тяжелых металлов вегетативными частями растений: для ионов кадмия – сем. Сложноцветные < сем. Мятликовые < сем. Подорожниковые < сем. Розоцветные < сем. Бобовые; для ионов свинца – сем. Сложноцветные < сем. Розоцветные < сем. Мятликовые < сем. Бобовые < сем. Подорожниковые.

В таблице 4 приведены рассчитанные коэффициенты накопления элементов в системе почва – корень.

Таблица 4

**Содержание ионов кадмия и свинца в корнях растений (мг/кг)  
и значения коэффициентов накопления элементов**

Вид растений	Кадмий			Свинец		
	1	2	3	1	2	3
сем. Мятликовые						
Кострец безостый	0,28	0,37	0,34	5,32	5,31	5,28
Ежа сборная	0,27	0,32	0,26	6,44	6,62	6,56
<i>среднее значение</i>	<u>0,27</u>	<u>0,34</u>	<u>0,30</u>	<u>5,88</u>	<u>5,97</u>	<u>5,92</u>
<i>коэффициент накопления</i>	1,4	0,9	0,6	2,9	3,3	1,7
сем. Розоцветные						
Лапчатка серебристая	0,21	0,24	0,28	4,92	5,12	5,42
Лапчатка гусиная	0,33	0,36	0,31	5,26	6,30	6,28
<i>среднее значение</i>	<u>0,27</u>	<u>0,30</u>	<u>0,30</u>	<u>5,09</u>	<u>5,71</u>	<u>5,85</u>
<i>коэффициент накопления</i>	1,4	0,8	0,6	2,3	3,2	1,7

Окончание табл. 4

Вид растений	Кадмий			Свинец		
	1	2	3	1	2	3
сем. Бобовые						
Клевер ползучий	0,24	0,21	0,32	2,42	2,12	3,42
Мышиный горошек	0,36	0,32	0,38	3,86	2,63	3,62
<i>среднее значение</i>	<u>0,30</u>	<u>0,27</u>	<u>0,35</u>	<u>3,14</u>	<u>2,38</u>	<u>3,52</u>
<i>коэффициент накопления</i>	1,5	0,7	0,7	1,4	1,3	1,0
сем. подорожниковые						
Подорожник большой	0,11	0,14	0,12	3,32	3,54	3,68
Подорожник ланцетолыстный	0,12	0,10	0,13	4,62	4,12	4,34
<i>среднее значение</i>	<u>0,11</u>	<u>0,12</u>	<u>0,12</u>	<u>3,97</u>	<u>3,82</u>	<u>4,01</u>
<i>коэффициент накопления</i>	0,6	0,3	0,2	1,8	2,1	1,1
сем. Сложноцветные						
Ромашка непахучая	0,16	0,20	0,21	3,10	3,46	3,78
Тысячелистник обыкновенный	0,24	0,32	0,36	4,21	4,24	4,72
<i>среднее значение</i>	<u>0,20</u>	<u>0,26</u>	<u>0,28</u>	<u>3,66</u>	<u>3,85</u>	<u>4,25</u>
<i>коэффициент накопления</i>	1,0	0,7	0,6	1,7	2,1	1,2

**Примечание.** Автомагистрали:

- 1 – Гомель– Ветка;
- 2 – Гомель– Калинковичи;
- 3 – Гомель– Чернигов.

При одинаковых условиях произрастания разные виды растений накапливают тяжелые металлы в корнях неодинаково, что, по-видимому, связано с различным электронным строением свинца и кадмия, различными размерами их радиусов ионов и с особенностями поступления катионов в систему почва – корень.

Для установления закономерностей накопления свинца и кадмия растительностью в зависимости от условий произрастания в придорожных экосистемах было определено содержание указанных элементов в вегетативной части дикорастущих растений и рассчитаны значения коэффициентов накопления (таблица 5).

Таблица 5

**Значения коэффициентов накопления ионов кадмия и свинца  
(трасса Гомель–Чернигов)**

Вид растений	Кадмий			Свинец		
	1	2	3	1	2	3
сем. Мятликовые						
Кострец безостый	0,53	0,58	0,24	1,08	1,29	0,75
Ежа сборная	0,25	0,41	0,24	1,06	1,33	0,88
сем. Розоцветные						
Лапчатка серебристая	0,71	0,64	0,44	0,47	0,55	0,73
Лапчатка прямоостоячая	0,76	0,80	0,52	0,51	0,60	0,77

Окончание табл. 5

Вид растений	Кадмий			Свинец		
	1	2	3	1	2	3
сем. Бобовые						
Клевер ползучий	0,79	1,29	0,64	1,71	2,16	0,99
Мышиный горошек	1,0	1,40	0,56	1,60	1,72	0,93
сем. подорожниковые						
Подорожник большой	0,5	0,66	0,32	0,81	1,0	1,04
Подорожник ланцетолистный	0,41	0,42	0,2	0,85	0,99	0,96
сем. Сложноцветные						
Ромашка непахучая	0,22	0,31	0,04	0,41	0,50	0,29
Тысячелистник обыкновенный	0,24	0,32	0,12	0,40	0,47	0,38

**Примечание.** Расстояние от автомагистрали:

- 1 – 8 м;
- 2 – 32 м;
- 3 – 100 м.

Установлено, что общей зависимости накопления ионов свинца и кадмия в фитомассе растений от расстояния до автомагистрали и содержанием их в почве не прослеживается. Наиболее высокая металлоаккумулирующая способность по кадмию и свинцу среди исследуемых растений отмечена для семейства Бобовых. Представители данных семейств можно рассматривать как концентраторы ионов тяжелых металлов в наземных экосистемах, которые можно использовать в биологическом методе очистки почв.

Исследования показали, что только по данным анализов почвы на наличие ионов тяжелых металлов предсказать степень накопления данных токсикантов в надземной части растения сложно. Растения могут в определенной степени с помощью физиологических барьеров ограничивать передвижение токсичных соединений металлов из корней в надземную часть.

Некоторые представители семейства Бобовых и семейства Розоцветных способны значительно улучшить структуру и физико-химические свойства почвы, что особенно важно при решении вопросов, связанных с применением биологического способа очистки техногенно-загрязненных почв. На основании полученных данных установлена положительная корреляция между содержанием подвижных форм элементов в почве и накоплением их отдельными видами растений.

Особую опасность для окружающих районов вблизи автомагистралей представляют обширные открытые участки почв, лежащие в 8-метровой зоне, с поверхностного слоя которых могут выноситься токсиканты на близлежащие садово-огородные участки и пахотные угодья.

### Заклучение

Установлен фоновый уровень содержания тяжелых металлов в вегетативных частях растений представителей пяти семейств, произрастающих на расстоянии 100 м от автомобильных трасс. На большом фактическом материале установлена корреляция распределения тяжелых металлов в почвах и некоторых растениях в исследуемых районах. Показано, что наиболее высокой металлоаккумулирующей способностью среди исследуемых растений обладают представители семейства Розоцветных и семейства Бобовых. Представителей этих семейств следует рассматривать как концентраторов ионов тяжелых металлов и рекомендовать для использования в биологическом методе очистки почв. Единственным объективным показателем наличия в почве соответствующего участка доступного количества для растений тяжелых металлов является только конкретный вид растений. По накоплению в фитомассе того или иного элемента можно судить об экологически значимом содержании его в почве.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Хаданович, А.В.** Механизм сорбции соединений тяжелых металлов некоторыми видами почв / А.В. Хаданович // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. Биология. – 2005. – № 4 (31). – С.84 – 90.
2. **Хаданович, А.В.** Поглощение тяжелых металлов почвенно-поглощающим комплексом в сосняке мшистом / А.В. Хаданович [и др.] // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. Биология. – 2003. – № 5 (13). – С. 42-46.
3. **Хаданович, А.В.** Особенности сорбции меди дерново-подзолистой почвой в присутствии цинка / А.В. Хаданович, В.Г. Свириденко // Природнае асяроддзе Палесся: сучасны стан і яго змены: матэрыялы навук. польска-ўкраінска-беларускай канф. / НАН Беларусі, Брэст, 2004. – Ч. 1. – С. 222-225.
4. Аккумуляция свинца, цинка и кадмия в зеленых насаждениях г. Минска / К.Д. Чубанов [и др.] // Природные ресурсы. – 2000. – № 4. – С. 68 –75.
5. **Черных, Н.А.** Экотоксические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Н. А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
6. **Ладонин, Д.В.** Особенности специфической сорбции меди и цинка некоторыми почвенными минералами / Д.В. Ладонин // Почвоведение. – 1997. – № 12. – С. 1474-1485.
7. **Савченко, С.В.** Закономерности распределения микроэлементов в пойменных экосистемах урбанизированных территорий / С.В. Савченко // Природные ресурсы. – 2000. – № 3. – С. 112 –119.
8. **Хаданович, А.В.** Особенности распределения и иммобилизации ионов тяжелых металлов в системе почва – растения (на примере Гомельского региона): автореф. дис. ...канд. хим. наук: 03.00.16 / А.В. Хаданович; Гом. гос. ун-т. – Гомель, 2008. – 22 с.
9. **Головатый, С.Е.** Тяжелые металлы в агросистемах Республики Беларусь / С.Е. Головатый; под ред. Т.В. Левитана. – Минск: унитарн. предпр. Институт почвовед. и агрохим., 2002. – 235 с.

10. Справочно-статистические материалы о состоянии окружающей среды и природоохранной деятельности в Республике Беларусь (на 1 янв. 2000 г.) / М-во природ. ресурсов и охраны окруж. среды РБ; отв. за вып. А.А. Матесович, С.А. Лупач. – Мн., 2000. – 54 с.

Поступила в редакцию 11.01.2010 г.