

УДК 546.56+546.74+546.73+546.81:631.41

Распределение ионов тяжелых металлов в системе почва – растение в условиях естественного фитоценоза

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

Введение

В настоящее время установлено существование неразрывной связи химического состава живых организмов с химическим составом земной коры. Между внешней средой и организмами идет постоянный обмен веществ. Химический состав растений очень сложен. Практически нет почти ни одного элемента, даже из числа самых редких, который не был бы обнаружен в том или ином растении [1].

Поглощение ионов микроэлементов корневой системой может осуществляться с использованием нескольких механизмов, развитых в процессе эволюции растений. Среди них важнейшими, вероятно, являются ионный обмен между корневой системой и почвой, диффузия растворенных биогенных ионов из почвенного раствора внутрь корня, селективный мембранный перенос ионов через клеточные мембраны [2]. При росте растений на естественных почвах одновременно могут использоваться различные механизмы. В почвах элементы находятся в различных состояниях: в виде малорастворимых солей и минералов; в виде катионов, сорбированных обменным комплексом почв, представляющим собой смесь природных веществ, обладающих ионообменными свойствами (глинистые минералы, гуминовые кислоты); в виде элементов, входящих в органические вещества и переходящие в доступные для растений формы за счет ферментативных, окислительных и микробиологических процессов [3]. Однако каким бы ни было первичное состояние биоэлементов почв, в конечном счете, они превращаются в ионы, присутствующие в почвенном растворе, откуда и происходит их поглощение корневой системой растений [4].

В связи с усиленным ростом количества автотранспорта и ухудшением гигиенических условий проживания людей, необходимость постоянного контроля за содержанием загрязняющих веществ в объектах окружающей среды не вызывает сомнения. Особое внимание следует уделять контролю за содержанием тяжелых металлов в почвах, так как именно почва представляет собой начальное звено одной из цепей, по которой идет миграция тяжелых металлов в биосфере: почва – растения – человек и животные [5].

Почвы и растения вблизи автодорог могут характеризоваться повышенным содержанием тяжелых металлов вследствие загрязнения их газо-пылевыми выбросами автотранспорта. Тяжелые металлы, поступающие из различных источников, попадают в конечном итоге на поверхность почвы и их дальнейшая судьба зависит от ее физических и химических свойств. Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов, особенно ионов тяжелых металлов в почвах гораздо дольше, чем в других частях биосферы.

Целью настоящей работы являлось проведение аналитических исследований почв и растений на содержание ионов меди и цинка вблизи автомагистралей с различным по интенсивности движением.

Объектом исследований послужили почвенные образцы, отобранные вблизи автомагистралей из горизонта А1 на расстоянии 8, 32 и 100 метров на пробных площадях всех ключевых участков в исследуемых элементарных ландшафтах. Для отбора проб почв закладывались 15 пробных площадей размером 25 м² с разной техногенной нагрузкой (величина грузопотока, авт./час 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. 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. Определяли содержание тяжелых металлов в надземной фитомассе и корневой системе травянистых растений. Виды анализируемых растений представлены в таблице 1.

Таблица 1

Перечень видов растений

| Семейство | Вид |
|---|---|
| Сем. Розоцветные – <i>Rosaceae</i> | Лапчатка серебристая — <i>Potentilla argentea</i> L. |
| | Таволга обыкновенная — <i>Filipendula vulgaris</i> L. |
| Сем. Мятликовые – <i>Poaceae</i> | Кострец безостый — <i>Bromopsis inermis</i> L. |
| | Ежа сборная — <i>Dactylis glomerata</i> L. |
| Сем. Бобовые – <i>Fabaceae</i> | Клевер ползучий — <i>Trifolium repens</i> L. |
| | Горошек мышиный — <i>Vicia cracca</i> L. |
| Сем. Подорожниковые – <i>Plantaginaceae</i> | Подорожник большой — <i>Plantago major</i> L. |
| | Подорожник ланцетолистный — <i>Plantago lanceolata</i> L. |
| Сем. Сложноцветные (аст- ровые) – <i>Compositae</i> (<i>Asteraceae</i>) | Тысячелистник обыкновенный — <i>Achillea millefolium</i> L. |
| | Пижма обыкновенная — <i>Tanacetum vulgare</i> L. |

Аналитическое определение валовых и подвижных форм ионов меди и цинка проводили вольтамперометрическим и атомно-абсорбционным методами анализа [6].

Результаты и обсуждение

Основные агрохимические показатели образцов почв, отобранных вдоль автомагистралей Гомельского района, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Агрохимические показатели исследуемых почв

| Агрохимические характеристики | Автомагистрали | | |
|--|------------------|------------------------|---------------------|
| | Гомель- Ветка | Гомель- Калинковичи | Гомель- Чернигов |
| pH _{KCl} | 5,84 | 5,73 | 5,50 |
| Содержание гумуса, % | 2,17 | 1,56 | 1,14 |
| Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г | 1,92 | 1,75 | 1,40 |
| Сумма обменных оснований, мг-экв/100 г | 3,64 | 3,20 | 3,04 |
| P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы | 17,3 | 16,5 | 20,1 |

Кислотность исследуемых почв колебалась от 5,5 до 5,83 единиц pH, содержание гумуса в среднем составляло 1,63 %, что характерно для данного типа почв. Низкое содержание гумуса, среднекислая реакция среды обуславливают малое содержание подвижных фосфатов (от 16,5 до 20,1 мг/100 г почвы).

В таблице 3 приведено содержание тяжелых металлов в исследуемых почвах, отобранных на расстоянии 100 метров от автомагистралей.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почвах

| Автомагистраль | Медь | Цинк |
|----------------|------|------|
|----------------|------|------|

| | 1 | 2 | 1 | 2 |
|--------------------|-----|-----|------|------|
| Гомель-Ветка | 4,5 | 2,1 | 30,2 | 14,1 |
| Гомель-Калинковичи | 4,8 | 2,3 | 31,2 | 15,8 |
| Гомель-Чернигов | 5,8 | 2,5 | 30,8 | 22,6 |

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: меди – 2,1 мг/кг, цинка 14,1 мг/кг. Наибольшее содержание подвижных форм фиксировалось в образцах почв, отобранных вдоль трассы Гомель–Чернигов. Содержание исследуемых катионов составляло: меди 2,5 мг/кг, цинка 22,6 мг/кг. Проведенный анализ валовых и подвижных форм в почвах придорожной экосистемы свидетельствует, что на расстоянии 100 метров загрязнение почвы тяжелыми металлами не отмечалось, поэтому данные показатели приняли за фоновые.

В таблице 4 представлены результаты исследований определения содержания тяжелых металлов в надземных частях различных видов растений, отобранных на расстоянии 100 м от автомагистралей.

Содержание ионов меди в исследуемых растениях колебалось от 1,08 до 5,96 мг/кг; цинка – от 12,0 до 34,42 мг/кг. Рассматриваемые семейства по содержанию ионов меди располагались в следующий ряд: сем. Бобовые < сем. Подорожниковые < сем. Мятликовые < сем. Розоцветные < сем. Сложноцветные; накопление ионов цинка в растениях различных семейств увеличивалось в следующем порядке: сем. Мятликовые < сем. Сложноцветные ≤ сем. Подорожниковые < сем. Бобовые < сем. Розоцветные. Приведенные результаты в таблице 4 свидетельствуют о том, что доступность исследуемых элементов в почве для растений зависит от их биологической принадлежности, позволяющей регулировать их содержание в различных видах даже при одинаковом количестве их в почве. Один и тот же вид растения 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 сем. 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.

Таблица 4

Распределение ионов меди и цинка (мг/кг) в надземной части растений

| Вид растений | Медь | | | Цинк | | |
|----------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Семейство Мятликовые | | | | | | |
| Кострец безостый | 1,50 | 2,42 | 4,62 | 15,56 | 14,36 | 16,12 |
| Ежа сборная | 1,40 | 2,30 | 6,52 | 13,46 | 12,58 | 13,24 |
| среднее | 1,61 | 2,36 | 4,90 | 14,87 | 13,59 | 14,66 |
| Сем. Розоцветные | | | | | | |
| Лапчатка серебристая | 2,52 | 2,42 | 5,78 | 36,76 | 30,32 | 34,38 |
| Таволга обыкновенная | 3,86 | 1,32 | 5,98 | 34,24 | 29,64 | 33,12 |
| среднее | 3,13 | 2,18 | 5,96 | 34,42 | 30,25 | 32,95 |
| Сем. Бобовые | | | | | | |

| | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Клевер ползучий | 0,92 | 1,64 | 2,45 | 30,06 | 27,56 | 29,44 |
| Мышиный горошек | 1,20 | 2,36 | 1,42 | 30,72 | 29,64 | 31,02 |
| среднее | 1,08 | 1,81 | 2,24 | 30,30 | 28,90 | 30,07 |
| Сем. Подорожниковые | | | | | | |
| Подорожник большой | 1,76 | 1,62 | 3,84 | 15,56 | 15,34 | 14,98 |
| Подорожник ланцетолистный | 0,72 | 2,12 | 2,98 | 25,26 | 21,58 | 23,78 |
| среднее | 1,24 | 1,87 | 3,41 | 20,41 | 18,46 | 19,38 |
| Сем. Сложноцветные | | | | | | |
| Тысячелистник обыкновенный | 2,20 | 2,12 | 6,98 | 25,36 | 11,58 | 24,56 |
| Пижма обыкновенная | 2,80 | 3,96 | 5,72 | 15,92 | 10,26 | 16,12 |
| среднее | 2,00 | 2,72 | 5,43 | 20,24 | 12,0 | 18,76 |

Примечание – автомагистрали:

1 – Гомель– Ветка;

2 – Гомель– Калинковичи;

3 – Гомель– Чернигов.

Изучая зависимость содержания тяжелых металлов в растениях разных жизненных форм от содержания данного элемента в почве, был вычислен растительно–почвенный коэффициент (РПК) – отношение содержания элемента в растении к его содержанию в почве, позволяющий косвенно судить от степени доступности элемента в почве для растений и о поведении его в системе растение – почва. В таблице 5 представлены значения РПК для тяжелых металлов в надземной части дикорастущих растений.

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

Таблица 5

Значения растительно-почвенных коэффициентов ионов меди и цинка

| Вид растений | Медь | | | Цинк | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Сем. Мятликовые | | | | | | |
| Кострец безостый | 0,07 | 1,05 | 1,85 | 1,10 | 0,91 | 0,71 |
| Ежа сборная | 0,67 | 1,00 | 2,60 | 0,93 | 0,80 | 0,59 |
| Сем. Розоцветные | | | | | | |
| Лапчатка серебристая | 1,20 | 1,05 | 2,31 | 2,61 | 1,92 | 1,52 |
| Лапчатка гусиная | 1,44 | 1,22 | 2,45 | 2,29 | 1,95 | 1,39 |
| Сем. Бобовые | | | | | | |
| Клевер ползучий | 0,44 | 0,71 | 0,98 | 2,14 | 1,74 | 1,30 |
| Мышиный горошек | 0,57 | 1,03 | 0,57 | 2,18 | 1,88 | 1,37 |
| Сем. подорожниковые | | | | | | |
| Подорожник большой | 0,84 | 0,70 | 1,54 | 1,10 | 0,97 | 0,66 |
| Подорожник ланцетолистный | 0,34 | 0,92 | 1,19 | 1,79 | 1,37 | 1,05 |
| Сем. Сложноцветные | | | | | | |
| Ромашка непахучая | 0,84 | 1,13 | 1,86 | 1,08 | 1,0 | 0,71 |
| Тысячелистник обыкновенный | 1,05 | 0,92 | 1,19 | 1,80 | 0,73 | 1,09 |

Установлено, что между содержанием в почве подвижных форм тяжелых металлов, с одной стороны, и накоплением их в исследуемых растениях существуют определенные свя-

зи. Расчеты коэффициентов корреляции показывают, что единственным объективным показателем наличия в почве доступного для растений количества тяжелых металлов являются растения конкретного семейства. По накоплению в фитомассе растений того или иного элемента можно судить об экологически значимом его содержании в почве.

Таким образом, изучаемые тяжелые металлы по-разному накапливаются в вегетативной части исследуемых растений, что, по-видимому, связано с различным электронным строением, различными размерами радиусов и ионов и с особенностями их поступления в систему почва – корень.

Для характеристики процессов накопления химических элементов растениями предложен показатель – коэффициент накопления, равный отношению содержания элемента в корнях к таковому в почвах. Принято считать, что подобный коэффициент накопления отражает корневое поступление элементов из почвы (таблица 6).

Таблица 6

Содержание ионов меди и цинка в корнях растений (мг/кг) и значения коэффициентов накопления элементов

| Вид растений | Медь | | | Цинк | | |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Сем. Мятликовые | | | | | | |
| Кострец безостый | 7,62 | 7,42 | 7,12 | 16,42 | 16,23 | 16,64 |
| Ежа сборная | 7,86 | 7,56 | 7,03 | 17,85 | 17,96 | 18,18 |
| <i>среднее · значение</i> | <u>7,74</u> | <u>7,49</u> | <u>7,08</u> | <u>17,14</u> | <u>17,10</u> | <u>17,41</u> |
| <i>коэффициент · накопления</i> | 3,7 | 3,3 | 2,8 | 1,2 | 1,1 | 0,8 |
| Сем. Розоцветные | | | | | | |
| Лапчатка серебристая | 5,12 | 5,44 | 5,86 | 16,52 | 17,85 | 18,12 |
| Лапчатка гусиная | 6,52 | 6,64 | 6,36 | 19,24 | 20,42 | 19,68 |
| <i>среднее · значение</i> | <u>5,82</u> | <u>6,04</u> | <u>6,11</u> | <u>17,88</u> | <u>19,14</u> | <u>18,90</u> |
| <i>коэффициент · накопления</i> | 2,7 | 2,6 | 2,4 | 1,3 | 1,2 | 0,8 |
| Сем. Бобовые | | | | | | |
| Клевер ползучий | 4,62 | 4,72 | 5,24 | 16,42 | 16,38 | 16,76 |
| Мышиный горошек | 5,82 | 5,98 | 6,36 | 18,23 | 18,56 | 17,85 |
| <i>среднее · значение</i> | <u>5,22</u> | <u>5,35</u> | <u>5,80</u> | <u>17,33</u> | <u>17,47</u> | <u>17,31</u> |
| <i>коэффициент · накопления</i> | 2,5 | 2,3 | 2,3 | 1,2 | 1,1 | 0,8 |
| Сем. Подорожниковые | | | | | | |
| Подорожник большой | 5,82 | 5,56 | 5,78 | 16,62 | 16,72 | 16,86 |
| Подорожник ланцетолистный | 6,41 | 6,32 | 6,48 | 18,35 | 18,64 | 18,23 |
| <i>среднее · значение</i> | <u>6,12</u> | <u>5,94</u> | <u>6,13</u> | <u>17,49</u> | <u>17,68</u> | <u>17,55</u> |
| <i>коэффициент · накопления</i> | 2,9 | 2,6 | 2,4 | 1,2 | 1,1 | 0,8 |
| Сем. Сложноцветные | | | | | | |
| Ромашка непахучая | 6,92 | 7,06 | 7,28 | 17,23 | 18,85 | 18,58 |
| Тысячелистник обыкновенный | 7,43 | 7,52 | 7,62 | 19,35 | 19,46 | 19,74 |
| <i>среднее · значение</i> | <u>7,18</u> | <u>7,29</u> | <u>7,45</u> | <u>18,29</u> | <u>19,16</u> | <u>19,16</u> |
| <i>коэффициент · накопления</i> | 3,4 | 3,2 | 3,0 | 1,3 | 1,2 | 0,8 |

Примечание – автомагистрали:

1 – Гомель – Ветка;

2 – Гомель – Калинковичи;

3 – Гомель – Чернигов.

При одинаковых условиях произрастания разные виды растений накапливают тяжелые металлы в корнях неодинаково. Коэффициент накопления составил для сем. Мятликовых: по меди – 3,27; цинку – 1,03; для сем. Розоцветных – 2,57; 1,10; для сем. Бобовых – 2,37; 1,03; для сем. Подорожниковых – 2,65; 1,03; для сем. Сложноцветных – 3,20; 1,10 соответственно.

Для установления закономерностей накопления ионов меди, цинка растительностью в зависимости от условий произрастания в придорожных экосистемах было определено содержание указанных элементов в вегетативной части дикорастущих растений.

Все исследуемые растения придорожных зон накапливают в фитомассе повышенные количества тяжелых металлов, особенно на расстоянии 8 м от автомагистралей. Наиболее высокая металлоаккумулирующая способность среди исследуемых растений отмечена для семейства Розоцветные. Представителей данного семейства можно рассматривать как концентраторы ионов тяжелых металлов в наземных экосистемах, их можно рекомендовать для использования в биологическом методе очистки почв.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что в придорожных экосистемах загрязнение растений металлами закономерно уменьшается при увеличении расстояния от автодороги с 8 до 100 метров, на расстоянии 100 метров загрязнение растений ионами тяжелых металлов не отмечалось.

Содержание ионов меди для представителей сем Мятликовых варьировало от 6,5 до 2,4 мг/кг; сем Сложноцветных – 7,1 – 3,0 мг/кг; сем Розоцветных – 11,1 до 4,6 мг/кг; сем. Бобовых от 3,8 до 1,4 мг/кг; сем. Подорожниковых от 5,2 до 1,9 мг/кг. Интервалы концентраций для ионов цинка: 23,5 – 13,3; 32,7 – 21,5; 89,2 – 23,1; 63,6 – 26,9; 42,4 – 22,0 мг/кг, соответственно.

В таблице 7 приведены значения растительно-почвенных коэффициентов для представителей исследуемых семейств, произрастающих вдоль автомагистрали Гомель – Чернигов на различном расстоянии от трассы.

Таблица 7

Значения растительно-почвенных коэффициентов меди и цинка (трасса Гомель-Чернигов)

| Вид растений | Медь | | | Цинк | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Сем. Мятликовые | | | | | | |
| Кострец безостый | 0,21 | 0,22 | 1,83 | 0,64 | 0,44 | 0,71 |
| Ежа сборная | 0,23 | 0,22 | 2,59 | 0,65 | 0,61 | 0,59 |
| Сем. Розоцветные | | | | | | |
| Лапчатка серебристая | 0,35 | 0,33 | 2,29 | 2,27 | 1,69 | 1,12 |
| Лапчатка гусиная | 0,38 | 0,38 | 2,43 | 2,51 | 1,41 | 1,30 |
| Сем. Бобовые | | | | | | |
| Клевер ползучий | 0,12 | 0,12 | 1,77 | 1,62 | 1,24 | 1,30 |
| Мышиный горошек | 0,13 | 0,11 | 0,98 | 1,68 | 0,89 | 0,66 |
| Сем. подорожниковые | | | | | | |
| Подорожник большой | 0,17 | 0,15 | 1,52 | 1,18 | 0,75 | 0,66 |
| Подорожник ланцетолистный | 0,18 | 0,17 | 2,77 | 1,10 | 0,90 | 1,05 |
| Сем. Сложноцветные | | | | | | |
| Ромашка непахучая | 0,26 | 0,26 | 1,45 | 0,86 | 0,81 | 0,71 |
| Тысячелистник обыкновенный | 0,25 | 0,21 | 2,77 | 0,87 | 0,85 | 1,10 |

Примечание – расстояние от автомагистрали:

1 – 8 м;

2 – 32 м;

3 – 100 м

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.

Во всех случаях растения придорожных автомагистралей проявляют тенденцию к накоплению ионов металлов в порядке: $Zn^{2+} > Cu^{2+}$. Представители сем. Бобовых и сем. Розоцветных по морфологическим и биологическим способностям могут дополнительно накапливать большое количество ионов тяжелых металлов в составе пылевых осадений из воздуха на поверхности вегетативных органов. У представителей семейства Розоцветные растительно-почвенные коэффициенты наибольшие по отношению к ионам меди и цинка. Рассматриваемые растения способны значительно улучшить структуру и физико-химические свойства почвы, что особенно важно при решении вопросов, связанных с применением биологического способа очистки техногенно-загрязненных почв.

Заключение

Определено содержание ионов тяжелых металлов 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. Показано, что наиболее высокой металлоаккумулирующей способностью среди исследуемых растений обладают представители семейства Розоцветных по цинку и меди. Представители этого семейства следует рассматривать как концентраторы 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.

Резюме. Вольтамперометрическим методом исследовано поглощение ионов меди и цинка почвами растениями естественного фитоценоза в интервале концентраций $10^{-6} - 10^{-7}$ моль/л. Определены коэффициенты распределения катионов в системе почвенный раствор - растения под влиянием техногенных для различных придорожных участков. Установлен фоновый уровень содержания тяжелых металлов в вегетативных частях растений представителей пяти семейств.

Abstract. Heavy metal ions distribution in the solid soil - plant systems in the condition of natural phytocenosis is considered in the paper. Coefficients of heavy metal ions distribution in the solid soil - plant systems under conditions of hard anthropogenic load have been received; rows of accumulation of the metal ions under consideration by plants in natural phytocenosis and by the cultivated herbs have been ascertained.

Литература

1. Солдатов, В.С. Ионообменные равновесия в многокомпонентных системах / В.С. Солдатов, В.А. Бычкова. – Минск: Наука и техника, 1988. – 358 с.
2. Лукашев, К.И. Химические элементы в почвах / К.И. Лукашев, Н.И. Петухова. – Минск: Наука и техника, 1970. – 232 с.
3. Аккумуляция свинца, цинка и кадмия в зеленых насаждениях г. Минска / К.Д. Чубанов [и др.] // Природные ресурсы. – 2000. – № 4. – С. 68–75.
4. Черных, Н.А. Экотоксические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.

5. Симуткина, Т.Н. Особенности распределения и формы соединений микроэлементов в почвах крупного промышленного города / Т. Н. Симуткина // Почвоведение. –1984. –№ 4. – С. 43 – 52.

6. 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.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 05.02.09

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ