



УДК 582.3/99:546.47/49(470.325)

## СОДЕРЖАНИЕ КАДМИЯ И СВИНЦА В ВЫСШИХ РАСТЕНИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ КРАСНЕНСКОГО РАЙОНА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

**А.А. Романькова**  
**И.В. Батлуцкая**

*Белгородский государственный  
университет*

*Россия, 308015, г. Белгород,  
ул. Победы, 85*

*E-mail: Stillet555@yandex.ru*

Исследовано содержание кадмия и свинца в растениях семейств Губоцветные, Сложноцветные и Бобовые Красненского района Белгородской области. В ходе анализа методом атомной адсорбции показано, что концентрации валовых и подвижных форм кадмия и свинца в почве произрастания растений не превышает ПДК. Установлено, что органы растений накапливают тяжелые металлы ТМ неравномерно: наибольшее количество кадмия аккумулируют листья, свинца – соцветия исследованных растений. Выявлены виды – концентраторы ТМ: максимальная концентрация кадмия обнаружена в Шалфее поникающем (*Salvia nutans* L.), свинца – в Шалфее сухостепном (*Salvia tesquicola* Klock. et Pobed.).

Ключевые слова: тяжелые металлы, кадмий, свинец, растения-биоиндикаторы, фитоиндикация.

### Введение

В настоящее время в связи с нарастающей антропогенной нагрузкой на биологические системы возникает необходимость в разработке критериев и методов оценки результатов техногенного воздействия. Использование компонентов биоты (биоиндикация) для слежения за состоянием окружающей среды, справедливо рассматривается как необходимое и логичное дополнение к мониторингу инструментальному, широко используемому сложнейшие аналитические методы исследований [1, 2].

В качестве биоиндикаторов используют живые организмы, обладающие хорошо выраженной реакцией на внешнее воздействие: различные штаммы бактерий, водоросли, грибы, лишайники, высшие и низшие растения, животные [2, 3, 4, 5].

Установлено, что высшие растения некоторых семейств способны аккумулировать тяжелые металлы (ТМ) из окружающей среды в наибольшем количестве, выступая в роли фитоиндикаторов загрязнений наземных экосистем [1, 2, 5, 6, 7]. Обнаружены два пути поступления ТМ в растительные организмы: проникновение из почвы и аэрозольное осаждение из воздуха [7, 8, 9, 10]. Известно, что по мере уменьшения накопительной способности ТМ органы растений распределены следующим образом: корень – стебель – листья – соцветия [3, 4, 5, 8, 9, 10, 11].

В данной работе исследовано содержание кадмия и свинца в органах растений семейств Губоцветные, Сложноцветные и Бобовые из Красненского района Белгородской области.

Цель исследования: определение видов растений – концентраторов кадмия и свинца, пригодных для использования в комплексной биоиндикации наземных экосистем.

Задачи исследования: 1) изучить содержание кадмия и свинца в растительных организмах; 2) определить виды высших растений названных семейств, аккумулирующих наибольшее количество ТМ с целью уточнения видов-фитоиндикаторов; 3) выявить органы растений, накапливающие максимальные концентрации ТМ, для использования данных показателей в биоиндикационном аспекте.

### Объекты и методы исследования

Исследование проведено в 2009 году в вегетационный период с июня по июль на территории села Паровка Красненского района Белгородской области РФ. Объек-

том исследования выбраны семь видов растений, произрастающих на данном участке: Шалфей мутовчатый (*Salvia verticillata* L.), Шалфей степной (*Salvia stepposa* L.), Василисник желтый (*Thalictrum flavum* L.), Ноголоватка васильковая (*Jurinea cianoides* (L.) Reichenb.), Шалфей поникающий (*Salvia nutans* L.), Шалфей сухостепной (*Salvia tesquicola* Klock. et Pobed.), Клевер белый, или ползучий (*Trifolium repens* L.).

Количество каждого отобранного вида растений составляет 20-25 одновозрастных особей, находящихся в стадии цветения. Сбор такого количества растительных материалов необходим для приготовления 10 г навески измельченных органов растений, которая подвергается в дальнейшем озолению. Из полученной после сжигания золы с помощью кислот извлекали ТМ в соответствии с требованиями методик [12].

Для установления связи между содержанием тяжелых металлов в почве, в надземной и подземной части растений, были отобраны образцы почвы в местах их произрастания. Концентрации кадмия и свинца в почве и растениях определяли методом атомной адсорбции на спектрометре типа С-115 в аналитической лаборатории ФГОУ ВПО «Белгородская государственная сельскохозяйственная академия» в июле 2009 года.

### Результаты и их обсуждение

Для химического анализа было подготовлено семь образцов растений (№ 1 – Шалфей мутовчатый (*Salvia verticillata* L.), № 2 – Шалфей степной (*Salvia stepposa* L.), № 3 – Василисник желтый (*Thalictrum flavum* L.), № 4 – Ноголоватка васильковая (*Jurinea cianoides* (L.) Reichenb.), № 5 – Шалфей поникающий (*Salvia nutans* L.), № 6 – Шалфей сухостепной (*Salvia tesquicola* Klock. et Pobed.), № 7 – Клевер белый, или ползучий (*Trifolium repens* L.)) и три образца почвы.

Содержание тяжелых металлов в почве. На рисунке 1 представлены результаты определения валовых и подвижных форм свинца и кадмия в анализируемых образцах почвы. Валовое содержание тяжелых металлов отражает общее количество элементов в почве и во всех трех образцах находится на безопасном уровне (ПДК<sub>вал. Pb</sub> = 30 мг/кг; ОДК<sub>вал. Cd</sub> = 2.0 мг/кг) [12].



Содержание свинца в образцах №1 и 2 находится приблизительно на одном уровне (4.8 и 4.2 мг/кг соответственно). То же касается и распределения кадмия: в образцах №1 и 2 его количество отличается на 0.08 мг/кг. Образец почвы №3 содержит больше Pb по сравнению с образцами № 1 и 2 в 1.4 и 1.6 раз; Cd – в 4.3 и 3.5 раза, соответственно.

Рис. 1. Содержание подвижных и валовых форм свинца и кадмия в почве, мг/кг.

Миграцию ТМ из почвы в растения наглядно демонстрируют подвижные формы токсикантов в почвенных образцах. Концентрация подвижного свинца в образцах почвы №1 и 2 составляет 2 и 1.7 мг/кг. Максимальное количество подвижной формы металла обнаружено в третьем образце и превышает содержание его в первом и во втором образцах в 1.7 и 2 раза.

Подвижный кадмий в проанализированных образцах составляет: №1 – 0.25; №2 – 0.3 и №3 – 0.34 мг/кг.



В целом, уровень подвижных форм свинца и кадмия в исследуемых образцах почвы не превышает ПДК подвижного свинца (60 мг/кг) и кадмия (1 мг/кг) в почвах [10].

Содержание тяжелых металлов в растениях. Максимальное количество свинца и кадмия содержат растительные образцы под номерами 4, 5 и 6. Минимальное количество металла обнаружено в 3 и 7 образцах (0,52 и 0,57 мг/кг, соответственно). Самая низкая концентрация свинца обнаружена в растительных образцах 1 и 2.

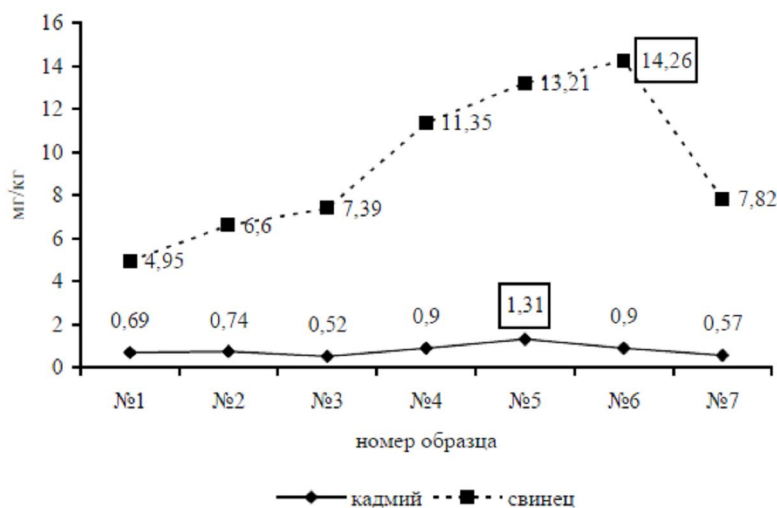


Рис.2. Общее количество кадмия и свинца в различных видах растений, мг/кг

Количество свинца во всех растительных образцах находится на уровне, не превышающем вредной для растений концентрации (30–300 мг/кг [10]), но превосходит уровень нормального содержания свинца в растениях, произрастающих на незагрязненных почвах, в 2,2 раза (рис. 3).

Содержание кадмия превышает среднее значение концентраций металла в растениях незагрязненных территорий в образцах №4 – в 1,2 раза, №5 – в 1,7 раза, №6 – в 1,2 раза (рис. 3). Предельно допустимая концентрация (ПДК) кадмия в растительных кормах для сельскохозяйственных животных составляет 0,3 мг/кг. Как видно на рис. 3, все образцы растений содержат количество кадмия, превышающее ПДК металла в кормах.

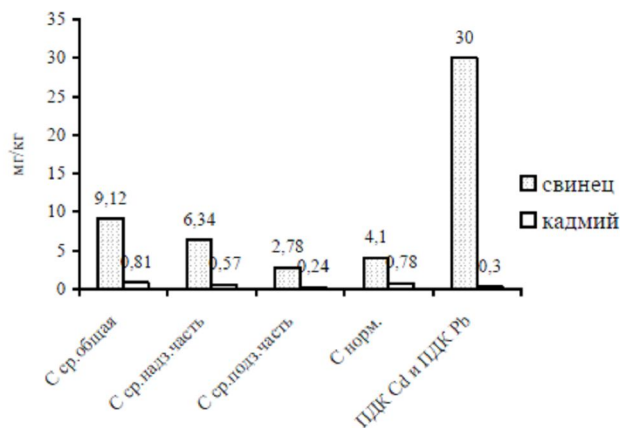


Рис.3. Различные концентрации кадмия и свинца в растениях, мг/кг:

Ср. общая – среднее значение общего количества металлов в семи растениях; Ср. надз. часть – среднее значение концентрации металлов в надземной части семи растений; Ср.

подз. часть – среднее значение концентрации металлов в подземной части семи растений; С норм. – среднее значение нормального содержания металлов в растениях незагрязненных почв [10]; ПДК Cd – предельно допустимая концентрация кадмия в растительных кормах [12]; ПДК Pb – ПДК свинца в растениях [10].

Большой интерес представляло для нас изучение накопления загрязняющих веществ различными частями растения (надземной и подземной), а также различными органами растения (корень, стебель, листья и соцветия). Полученные данные настоящего исследования позволяют отметить, что в среднем кадмия и свинца накапливается в большей степени надземной частью растений, что не согласуется с литературными данными [2, 5, 8, 9, 10, 11]. Так, среднее содержание свинца во всех семи образцах составляет 6.34 мг/кг в надземной и 2.78 мг/кг в подземной части растения. Такая же тенденция наблюдается и по отношению к кадмию: 0.57 мг/кг аккумулируется надземной и 0.24 мг/кг подземной частью растений (см. рис. 3).

Распределение поллютантов в различных органах анализируемых растений демонстрируют диаграммы рисунков 4 и 6. Для установления роли каждого органа растения в общей аккумулирующей способности всего организма, мы определяли коэффициент накопления кадмия и свинца для корней, стеблей, листьев и соцветий, как  $KH = C_{орг.} / C_{общ.}$ , где  $KH$  – коэффициент накопления органа растения,  $C_{орг.}$  – концентрация металла в органе,  $C_{общ.}$  – общее количество металла в растении. Полученная величина  $KH$  выражена в процентах (рис. 5 и 7).

Согласно литературным данным накопление тяжелых металлов различными органами растений уменьшается в ряду корень > стебель > листья > соцветия [8, 10, 2]. Результаты настоящего исследования не позволяют выявить столь четкой закономерности для всех семи образцов. Подобная тенденция характерна только для распределения кадмия во втором образце (рис.4 и 5). В образцах под номерами 4, 5, 6 и 7 отмечено наибольшее накопление кадмия в листьях растений. В процентном отношении количество этого элемента в листьях названных образцов составляет 44, 46, 42 и 40% от общего количества металла в растительном организме, в то время как на долю накопления кадмия корнями растений приходится 21, 18, 33 и 18% соответственно. Во всех растительных образцах намечается тенденция низкой аккумулирующей способности кадмия стеблями от 7 до 19% от общего количества загрязнителя в растении (рис.4 и 5).

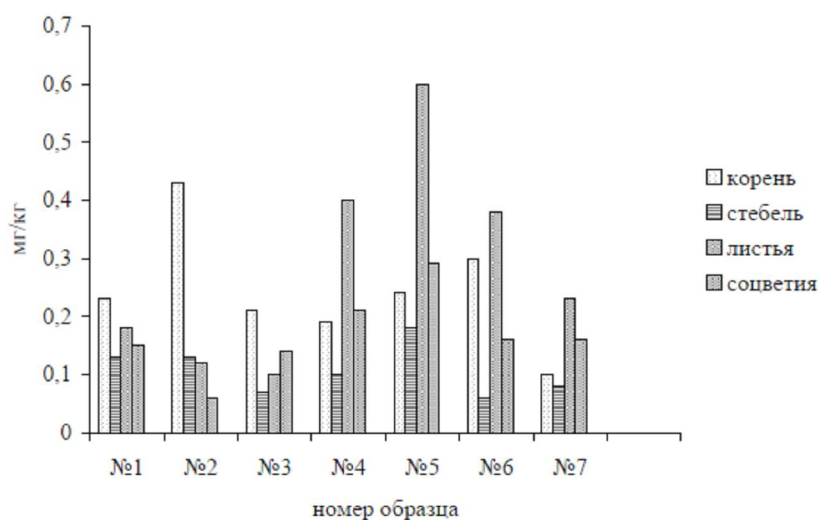


Рис.4. Содержание кадмия в различных органах растений, мг/кг

Необычным является тот факт, что большое количество вредного для растительных клеток элемента кадмия поступает в генеративные органы – соцветия, что не согласуется с литературными данными [8, 3]. Данный факт требует дальнейшей перепроверки, изучения и анализа. В образцах растений № 3 и 7 на долю металла сконцентрированного в соцветиях приходится 27 и 28%, соответственно (см. рис.5).

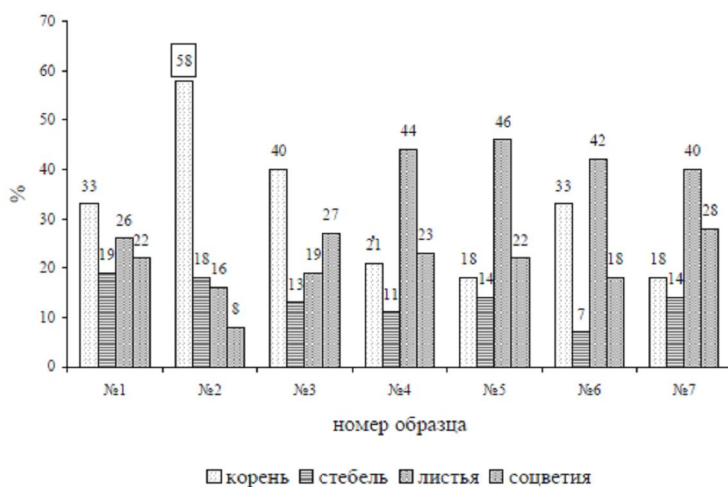


Рис.5. Коэффициент накопления кадмия различными органами растений, %

Кроме того, в образцах с наибольшим содержанием кадмия в листьях, наблюдается повышенное содержание металла в соцветиях (рис. 5): № 3 – 27%; № 4 – 23%; № 5 – 22%; № 6 – 18%; № 7 – 28%.

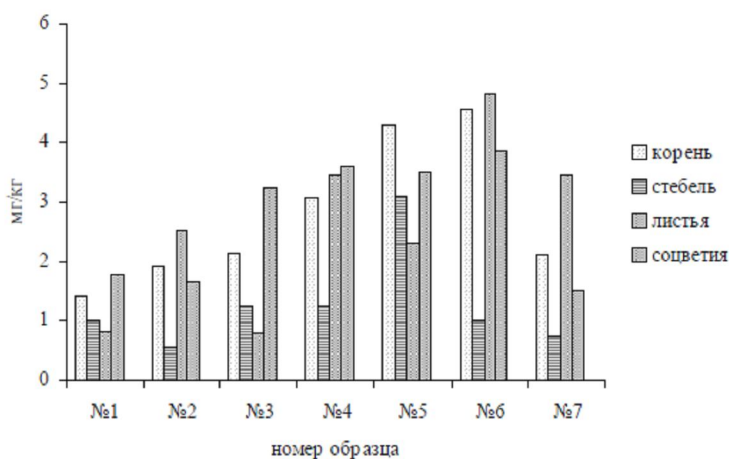


Рис.6. Содержание свинца в различных органах растений, мг/кг

Нами обнаружена особенность распределения свинца в органах анализируемых растений, которая заключается в следующем: самая высокая концентрация элемента содержится в листьях шестого образца (Шалфей сухостепной – *Salvia tesquicola* Klock. et Pobed.) (рис.6). В образцах №2 и 7 большей аккумуляционной способностью также обладают листья и в процентном отношении на долю концентрирования металла листьями рассматриваемых растений приходится 38 и 34% соответственно (рис. 7). В 1, 3 и 4 образцах отмечено нарушение барьерной функции корня по отношению к свинцу, т. к. во всех представленных растениях металл проникает в соцветия в наибольшем количестве (35, 44 и 32% соответственно) (рис. 7).

Что касается накопления вредного металла корнями растений, то во всех образцах, за исключением № 5, свинца в данных органах содержится меньше, чем в соцветиях (№ 1, 3, 4) или в листьях (№ 2, 6, 7). Распределение элемента в стеблях находится приблизительно на одном уровне для всех образцов, кроме пятого, и составляет от 7 до 20% от общего количества металла в растении (см. рис.7).

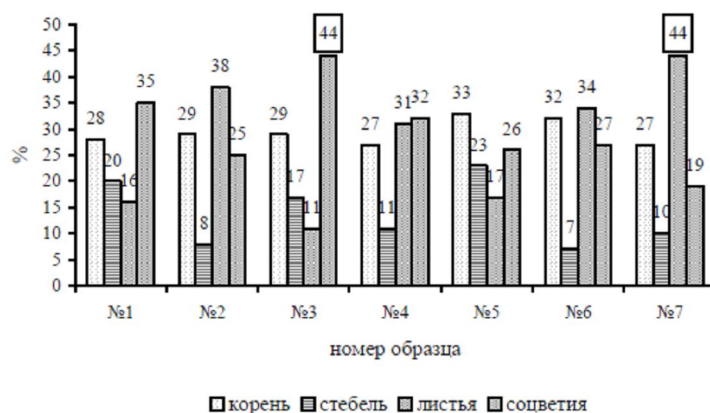


Рис.7. Коэффициент накопления свинца различными органами растений, %

Нами рассчитан суммарный коэффициент накопления ТМ  $KH_{\text{сум}}$  различными органами растений, вычисленный как отношение средней концентрации элемента в органе  $C_{\text{ср. орг.}}$  к средней общей концентрации элемента  $C_{\text{ср. общ.}}$  в рассматриваемых семи видах растений ( $KH_{\text{сум}} = C_{\text{ср. орг.}}/C_{\text{ср. общ.}}$ ).

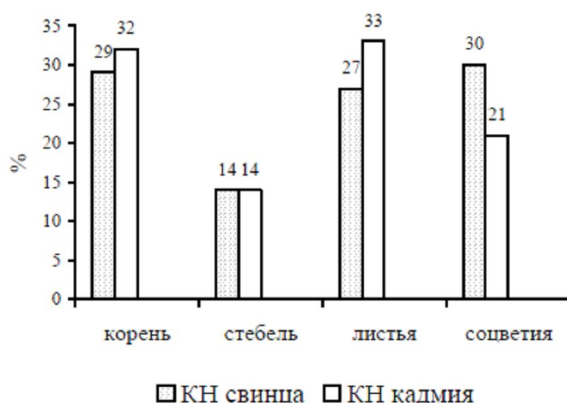


Рис.8. Суммарный коэффициент накопления  $KH_{\text{сум}}$  свинца и кадмия различными органами растений, %

Как показано на рисунке, органы изучаемых растений распределяются по способности к аккумуляции ТМ следующим образом: накопление кадмия уменьшается в ряду – листья > корень > соцветия > стебель; накопление свинца уменьшается в ряду – соцветия > корень > листья > стебель, что не находит подтверждения в опубликованных материалах [3, 4, 5, 8, 9, 10].

Функция накопления ТМ различными образцами исследуемых растений была показана с помощью зависимости между общим содержанием элемента в растительных образцах и средним значением подвижной формы металла в трех исследуемых образцах почвы  $A = C_p/C_n$  (рис. 9 и 10).

Максимальное количество кадмия содержится в пятом образце (Шалфей поникающий, сем. Губоцветные). Далее ряд растений располагается по уменьшению концентрирующей способности кадмия следующим образом: Шалфей сухостепной = Наголоватка васильковая > Шалфей степной > Шалфей мутовчатый > Клевер белый > Василисник желтый.



Из семи растений, максимальное количество свинца способен извлекать из почвы Шалфей сухостепной (№ 6), сем. Губоцветные (рис. 10). Большой аккумулялирующей способностью также обладает Шалфей поникающий (№ 5), сем. Губоцветные и Ноголоватка васильковая (№ 4), сем. Сложноцветные. Наименьшее количество свинца накапливает Шалфей мутовчатый (№ 1), сем. Губоцветные.

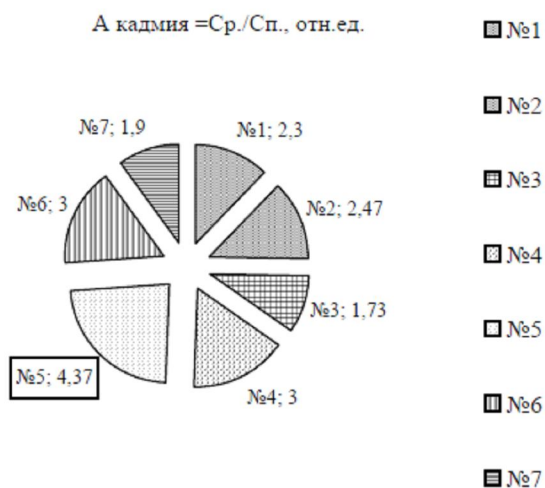


Рис. 9. Зависимость ( $A = C_p/C_n$ ) между общим содержанием кадмия в растениях ( $C_p$ ) и содержанием подвижных форм металла в среднем почвенном образце ( $C_n$ ), отн. ед.

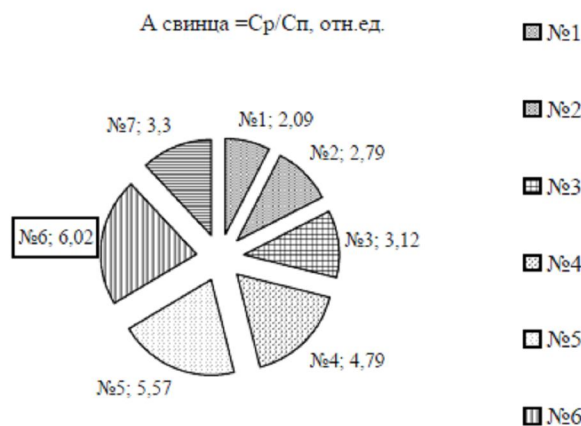


Рис. 10. Зависимость ( $A = C_p/C_n$ ) между общим содержанием свинца в растениях ( $C_p$ ) и содержанием подвижных форм металла в среднем почвенном образце ( $C_n$ ), отн. ед.

### Заключение

На основании проведенного исследования содержания кадмия и свинца в растениях семейств Губоцветные, Сложноцветные и Бобовые села Паровка Красненского района Белгородской области и в почве, на которой произрастали отобранные растения, можно сделать следующие выводы.

1. Концентрации кадмия и свинца в почвенных образцах не превышают ПДК.)
2. Наибольшей аккумулялирующей способностью кадмия обладает Шалфей поникающий, свинца – Шалфей сухостепной (сем. Губоцветные).
3. Максимальные концентрации кадмия накапливаются в листьях и корнях, свинца – в соцветиях и листьях анализируемых растений.



### Список литературы

1. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Под ред. Р.Шуберта. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
2. Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений: учеб.пособие. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. – 266 с.
3. Безель В.С., Жуйкова Т.В. Химическое загрязнение среды: вынос химических элементов надземной фитомассой травянистой растительности // Экология. – 2007. – № 4. – С. 259-267.
4. Попова О.В., Федорова А.И. Индикация дальности и интенсивности влияния Новолипецкого металлургического комбината на прилегающую территорию (по реакциям клена платанолистного) // Вестн. ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. – 2005. – № 1. – С. 135-142.
5. Ягафарова Г.А. Содержание свинца в почве и в тысячелистнике азиатском в условиях Южного Урала // Вестник Башкирского университета. Раздел: биология и медицина. – 2006. – № 3. – С. 68-69.
6. Добровольский В.В. и др. Свинец в окружающей среде. – М.: Наука, 1987. – 256 с.
7. Неверова О.А. Опыт использования биоиндикаторов в оценке загрязнения окружающей среды. Новосибирск, 2006. – 88с.
8. Алексеев В.Б. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 140 с.
9. Ильин В.Б. Мониторинг тяжелых металлов применительно к крупным промышленным городам // Агрехимия. – 1997. – № 4. – С.81-86.
10. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва - растение. Новосибирск: Наука. 1991. – 149 с.
11. Ильин В.Б. Элементный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. – 140 с.
12. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО. – 1992 – 62 с.

## THE CADMIUM AND LEAD CONTENT IN THE HIGHER PLANTS IN KRASNENSKY DISTRICT OF THE BELGOROD REGION

**A.A. Roman'kova**  
**I.V. Batlutskaya**

*Belgorod State University*  
*Pobedy St., 85, Belgorod,*  
*308015, Russia*  
*E-mail: sorokopudov@bsu.edu.ru*

Cadmium and lead content in plants of families Lamiaceae, Asteraceae and Fabaceae of Krasnensky district of the Belgorod region is investigated. During the analysis by a method of atomic absorption it is shown that concentration of total and mobile forms of heavy metals in the soil of growth of plants does not exceed the maximum permissible concentration limit. It is established that plant organs accumulate heavy metals unevenly: the greatest amount of cadmium is accumulated by leaves, lead is predominantly accumulated by the inflorescences of the investigated plants. The species – concentrators of heavy metals are revealed: the maximum concentration of cadmium is detected in the salvia drooping (*Salvia nutans* L.), lead is found in the *S. tesquicola* Klock. et Pobed.

Key words: heavy metals, cadmium, lead, plants-bioindicators, phytoindication.