

## БИОЛОГИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 77–85

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 77–85  
<https://ichbe.sgu.ru> <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-1-77-85>

EDN: ILPPVS

УДК 574.24:615.322

# Изучение закономерностей накопления наиболее опасных экотоксикантов в дикорастущем лекарственном растительном сырье различных экотопов Воронежской области

Н. А. Дьякова

Воронежский государственный университет, Россия, 394006, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1

Дьякова Нина Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, [Ninochka\\_V89@mail.ru](mailto:Ninochka_V89@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0766-3881>

**Аннотация.** Воронежская область – один из важнейших районов земледелия и растениеводства. Целью исследования являлось изучение закономерностей накопления наиболее опасных тяжелых металлов в дикорастущем лекарственном растительном сырье различных экотопов Воронежской области. Изучалось накопление тяжелых металлов (свинца, ртути, кадмия, никеля, меди, цинка, кобальта, хрома) и мышьяка на примере 10 видов лекарственных растений, произраставших в 51 экотопе Воронежской области. При анализе средних значений коэффициентов накопления тяжелых металлов и мышьяка всеми изучаемыми видами лекарственного растительного сырья можно построить ряд убывания общей средней эффективности аккумуляции определяемых элементов данными растениями, который выглядит следующим образом: цинк > медь > кадмий > кобальт > никель > мышьяк > хром > свинец > ртуть. При анализе значений коэффициентов накопления построены ряды убывания эффективности аккумуляции элементов во всех изучаемых видах лекарственного растительного сырья. Детальный анализ особенностей накопления тяжелых металлов и мышьяка из почв в лекарственном растительном сырье показал наличие тесной положительной взаимосвязи между концентрациями в почве и растениях для большинства определяемых элементов, что указывает на преимущественное загрязнение растительного сырья через грунт.

**Ключевые слова:** Воронежская область, лекарственное растительное сырье, свинец, ртуть, кадмий, никель, медь, цинк, кобальт, хром

**Для цитирования:** Дьякова Н. А. Изучение закономерностей накопления наиболее опасных экотоксикантов в дикорастущем лекарственном растительном сырье различных экотопов Воронежской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23, вып. 1. С. 77–85. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-1-77-85>, EDN: ILPPVS

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

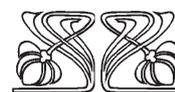
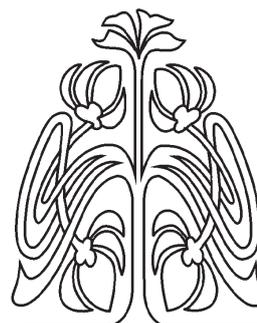
**Study of patterns of accumulation of the most dangerous ecotoxicants in wild medicinal plant raw materials of various ecotopes of the Voronezh region**

**N. A. Dyakova**

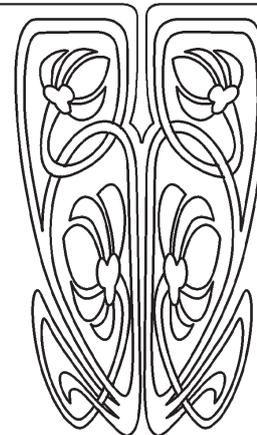
Voronezh State University, 1 University pl., Voronezh 394006, Russia

Nina A. Dyakova, [Ninochka\\_V89@mail.ru](mailto:Ninochka_V89@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0766-3881>

© Дьякова Н. А., 2023



**НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ**





**Abstract.** Voronezh region is one of the most important areas of agriculture and crop production. The purpose of the study was to study the patterns of accumulation of the most dangerous heavy metals in wild medicinal plant raw materials of various ecotopes of the Voronezh region. The accumulation of heavy metals (lead, mercury, cadmium, nickel, copper, zinc, cobalt, chromium) and arsenic was studied, using an example of 10 types of medicinal plant raw materials, which were produced in 51 ecotopes of the Voronezh region. When analyzing the average values of the accumulation coefficients of heavy metals and arsenic by all studied types of medicinal plant raw materials, it is possible to build up a series of decreases in the total average accumulation efficiency of the determined elements for these plants, which is as follows: zinc > copper > cadmium > cobalt > nickel > arsenic > chromium > lead > mercury. When analyzing the values of accumulation coefficients, rows of decreasing efficiency of accumulation of elements in all types of medicinal plant raw materials studied are constructed. A detailed analysis of the characteristics of the accumulation of heavy metals and arsenic from soils in medicinal plant raw materials showed the presence of a close positive relationship between concentrations in soil and plants for most of the determined elements, which indicates the predominant contamination of plant raw materials through the soil.

**Keywords:** Voronezh region, medicinal herbal raw materials, lead, mercury, cadmium, nickel, copper, zinc, cobalt, chrome

**For citation:** Dyakova N. A. Study of patterns of accumulation of the most dangerous ecotoxicants in wild medicinal plant raw materials of various ecotopes of the Voronezh region. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2023, vol. 23, iss. 1, pp. 77–85 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2023-23-1-77-85>, EDN: ILPPVS

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

На начало 2022 г. фармацевтический рынок РФ насчитывает более 2 тыс. лекарственных препаратов и почти 8 тыс. БАД на основе лекарственного растительного сырья (ЛРС). С учетом высокой стоимости импортных лекарственных средств в России отмечается значительный рост спроса на отечественные препараты, в том числе растительного происхождения. Высокий интерес к препаратам из ЛРС связан прежде всего со значительной эффективностью и относительной безопасностью. С начала 90-х гг. в нашей стране произошел сдвиг товарной структуры в пользу дикорастущего ЛРС, удельный вес которого увеличился с 52% (в конце 80-х гг. XX в.) до 83% (в настоящее время). Однако большинство используемых ресурсов дикорастущего ЛРС находится в зоне активной хозяйственной деятельности человека и оказывается подвержено загрязнению экотоксикантами. К ним относятся территории, находящиеся вблизи населенных пунктов, автомобильных и железных дорог, промышленных предприятий, сельскохозяйственных угодий. Загрязненное ЛРС и лекарственные препараты на его основе могут являться одними из источников поступления экотоксикантов в организм человека [1–3].

Одними из наиболее опасных экотоксикантов в силу высокой токсичности, устойчивости в окружающей среде и способности к биологической миграции являются тяжёлые металлы. Они обладают способностью к аккумуляции в почве и лекарственном растительном сырье. Классификация элементов на биогенные и токсичные весьма условна и часто определяется их концентрацией. Показатели нормальных концентраций элементов в ЛРС значительно

варьируют в зависимости от вида растения, его фенологической фазы, адаптации к геохимическим условиям, анализируемых органов, типа почвы, содержания элемента в почве и др. Термин «тяжелые металлы» в научной литературе определяется по разным критериям – плотность, атомная масса, токсичность, распространенность в окружающей среде, вовлеченность в трофические цепи и т.д. Таким образом, к тяжелым металлам причисляют порядка 40 элементов, которые можно отнести к потенциальным загрязнителям ЛРС, в частности, наиболее опасные – свинец, ртуть, кадмий, никель, хром, кобальт, медь, цинк [4–6].

Воронежская область – один из крупных регионов земледелия и растениеводства. Активная химизация в сельском хозяйстве, расширение производственных площадей, освоение минеральных ресурсов и транспортной инфраструктуры обострили вопрос обеспечения различных отраслей промышленности безопасным ЛРС в регионе. Таким образом, учитывая значительное, ежегодно возрастающее влияние токсичных химических элементов на растительные организмы, необходима комплексная оценка эколого-гигиенического состояния ЛРС Воронежской области с учетом влияния хозяйственной деятельности человека [7–9].

*Цель исследования* – изучение закономерностей накопления наиболее опасных тяжелых металлов в дикорастущем ЛРС различных экотопов Воронежской области.

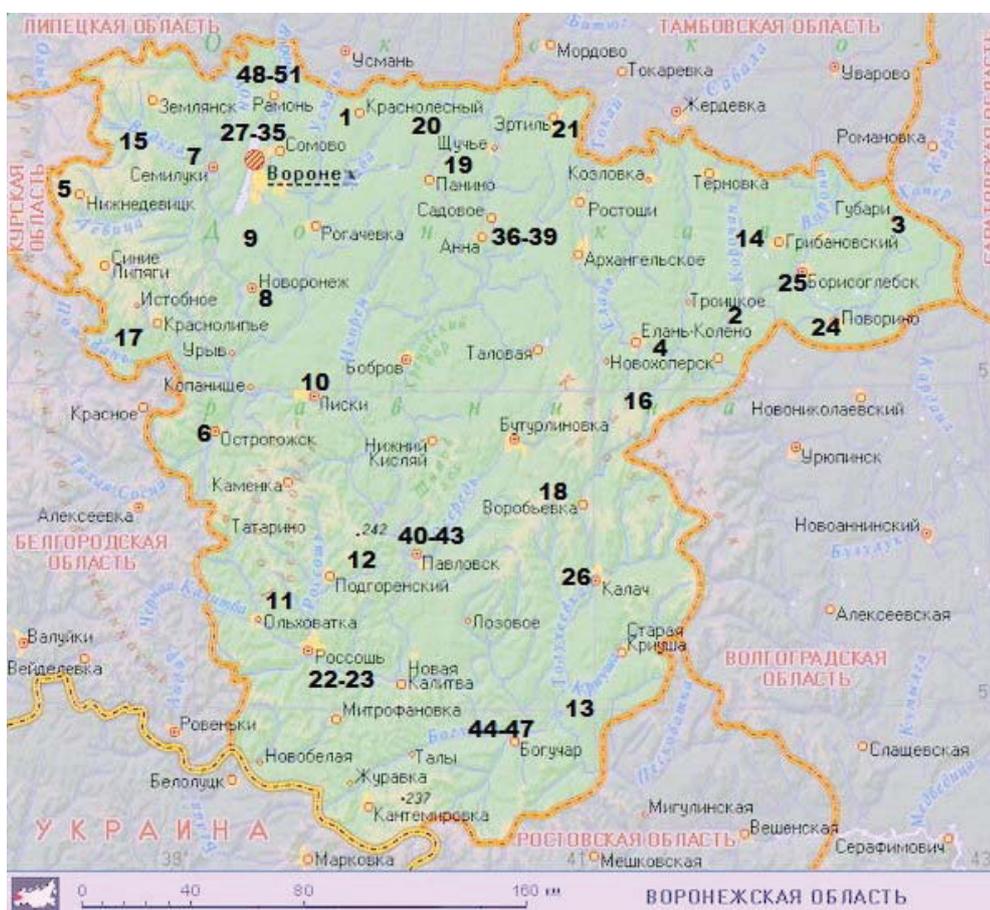
## Материалы и методы

Объектами исследования явились виды ЛРС, широко распространенного в средней



полосе России, в частности, в Воронежской области: листья подорожника большого (*Plantago major* L.), листья крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.), цветки липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.), цветки пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.), трава тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.), трава полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.), трава пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.), трава горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.), корни одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* F. H. Wigg.), корни лопуха обыкновенного (*Arctium lappa* L.) [10, 11]. Сбор образцов ЛРС проводили согласно требованиям по заготовке. Также отбирали пробы верхних слоев почв (ВСП) (0–10 см от поверхности).

Районы сбора изучаемых образцов на территории Воронежской области обусловлены особенностями воздействия человека (рисунок, таблица): промышленные предприятия (см. рисунок: 23, 24, 28); теплоэлектроцентраль (27); атомная электростанция (8); международный аэропорт (30); улицы городов (25, 26, 31); высоковольтные линии электропередач (9); Воронежское водохранилище (29); месторождение никелевых руд (4); зоны радиоактивного загрязнения после аварии в Чернобыле (5–7); сельскохозяйственные поля (10–22); дороги разной степени загруженности на удалении 0, 100, 200, 300 м от транспортных магистралей: трасса М4 (32–35, 40–43), трасса А144 (36–39), проселочная дорога (44–47) и железная дорога (48–51); зоны сравнения – заповедные территории (1, 2, 3)).



Карта отбора образцов (цифры расшифрованы выше)  
Figure. Sampling card (numbers deciphered above)

Исследование образцов почв и ЛРС проводилось методом атомно-абсорбционной спектрометрии на аналитическом комплексе МГА-915МД [12]. Каждое определение проводили трижды,

экспериментальные данные статистически обрабатывали с помощью программы «Microsoft Excel» при доверительной вероятности 95%. Изучали содержание в образцах таких токсич-



ных элементов, как ртуть, кадмий, свинец, мышьяк, кобальт, цинк, никель, хром и медь. Для оценки эффективности переноса элементов из почв в ЛРС рассчитывали коэффициенты накопления (КН):

$$КН = \frac{С_{ЛРС} \times 100}{С_{ВСП}},$$

где  $С_{ЛРС}$  – содержание элемента в ЛРС;  $С_{ВСП}$  – валовое содержание элемента в верхних слоях почв [7–9].

### Результаты и их обсуждение

Результаты исследования особенностей накопления наиболее опасных тяжелых металлов в ЛРС, произрастающем в различных экотопах Воронежской области, приведены в табл. 1, 2.

Проведенные исследования показали, что свинец наиболее эффективно концентрируется в корнях одуванчика лекарственного и лопуха обыкновенного. Наибольшей концентрирующей способностью к накоплению ртути обладают листья крапивы двудомной и подорожника большого, трава полыни горькой. Кадмий активно накапливается в травах полыни горькой и пустырника пятилопастного, корнях лопуха обыкновенного и одуванчика лекарственного, листьях подорожника большого. Аккумуляторами мышьяка являются трава полыни горькой и тысячелистника обыкновенного, листья подорожника большого и корни лопуха большого.

Наибольшую концентрирующую способность в отношении никеля проявили листья

Таблица 1 / Table 1

### Диапазон варьирования коэффициентов накопления тяжелых металлов в ЛРС синантропной флоры Воронежской области

#### Range of variation factors of accumulation of heavy metals in medicinal plant raw materials of synanthropic flora of Voronezh region

| ЛРС / Medicinal plant raw materials                        | Коэффициенты накопления / Storage coefficients |           |           |           |           |           |           |           |           |
|--|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|  | Pb   | Hg        | Cd        | As        | Ni        | Cr        | Co        | Cu        | Zn        |
| Трава горца птичьего / Mountain bird Grass                 | 0,06–0,42                                      | 0,01–0,40 | 0,00–0,75 | 0,06–0,83 | 0,08–1,16 | 0,07–0,62 | 0,06–0,49 | 0,29–1,37 | 0,44–2,69 |
| Трава полыни горькой / Bitter wormwood grass               | 0,03–0,22                                      | 0,04–0,80 | 0,06–6,22 | 0,24–3,25 | 0,05–0,67 | 0,03–0,55 | 0,02–0,14 | 0,38–3,85 | 0,62–2,23 |
| Трава тысячелистника обыкновенного / Millennial herb       | 0,02–0,16                                      | 0,01–0,40 | 0,04–1,00 | 0,17–2,92 | 0,05–0,68 | 0,02–0,12 | 0,03–0,13 | 0,38–2,03 | 0,24–2,36 |
| Трава пустырника пятилопастного / Five-bladed dummy grass  | 0,02–0,17                                      | 0,02–0,50 | 0,08–1,89 | 0,13–1,58 | 0,09–1,23 | 0,03–0,14 | 0,06–0,30 | 0,29–1,89 | 0,47–2,29 |
| Листья подорожника большого / Big plantain leaves          | 0,04–0,46                                      | 0,04–0,70 | 0,04–1,89 | 0,17–3,00 | 0,05–1,37 | 0,13–1,16 | 0,05–0,29 | 0,12–1,29 | 0,28–1,61 |
| Листья крапивы двудомной / Nettle dioecious leaves         | 0,03–0,23                                      | 0,04–0,90 | 0,00–1,00 | 0,03–0,83 | 0,09–1,16 | 0,07–0,65 | 0,01–0,24 | 0,18–1,78 | 0,38–1,99 |
| Цветки липы сердцевидной / Heart-shaped flowers            | 0,01–0,08                                      | 0,00–0,20 | 0,00–0,50 | 0,01–0,08 | 0,01–0,78 | 0,00–0,07 | 0,01–0,10 | 0,05–0,75 | 0,30–1,95 |
| Цветки пижмы обыкновенной / Common linden flowers          | 0,01–0,07                                      | 0,00–0,30 | 0,04–1,00 | 0,01–0,33 | 0,04–1,57 | 0,00–0,10 | 0,01–0,15 | 0,15–1,13 | 0,32–1,92 |
| Корни одуванчика лекарственного / Dandelion medicine roots | 0,09–0,59                                      | 0,02–0,50 | 0,11–6,00 | 0,12–1,67 | 0,04–1,35 | 0,20–1,49 | 0,52–2,66 | 0,14–1,48 | 0,58–2,49 |
| Корни лопуха обыкновенного / Burdock common roots          | 0,11–0,90                                      | 0,02–0,50 | 0,28–2,14 | 0,18–2,58 | 0,06–1,16 | 0,16–1,14 | 0,33–1,90 | 0,20–2,38 | 0,42–2,87 |



Таблица 2 / Table 2

**Средние значения коэффициентов накопления тяжелых металлов в ЛРС  
синантропной флоры Воронежской области**  
**Mean values factors of accumulation of heavy metals in medicinal plant raw materials  
of synanthropic flora of Voronezh region**

| ЛРС /<br>Medicinal plant raw materials                        | Коэффициенты накопления / Storage coefficients |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | Pb   | Hg   | Cd   | As   | Ni   | Cr   | Co   | Cu   | Zn   |
| Трава горца птичьего /<br>Mountain bird Grass                 | 0,14   | 0,05 | 0,11 | 0,09 | 0,27 | 0,16 | 0,12 | 0,51 | 0,82 |
| Трава полыни горькой /<br>Bitter wormwood grass               | 0,07   | 0,12 | 0,74 | 0,41 | 0,18 | 0,07 | 0,05 | 0,83 | 0,83 |
| Трава тысячелистника обыкновенного /<br>Millennial herb       | 0,07   | 0,06 | 0,17 | 0,27 | 0,16 | 0,05 | 0,06 | 0,61 | 0,53 |
| Трава пустырника пятилопастного /<br>Five-bladed dummy grass  | 0,07   | 0,07 | 0,47 | 0,19 | 0,27 | 0,07 | 0,10 | 0,54 | 0,76 |
| Листья подорожника большого /<br>Big plantain leaves          | 0,11   | 0,12 | 0,48 | 0,33 | 0,29 | 0,27 | 0,12 | 0,24 | 0,56 |
| Листья крапивы двудомной /<br>Nettle dioecious leaves         | 0,07   | 0,13 | 0,05 | 0,10 | 0,28 | 0,23 | 0,09 | 0,33 | 0,60 |
| Цветки липы сердцевидной /<br>Heart-shaped flowers            | 0,01   | 0,02 | 0,08 | 0,01 | 0,06 | 0,02 | 0,05 | 0,15 | 0,60 |
| Цветки пижмы обыкновенной /<br>Common linden flowers          | 0,02   | 0,03 | 0,16 | 0,05 | 0,16 | 0,03 | 0,04 | 0,31 | 0,49 |
| Корни одуванчика лекарственного /<br>Dandelion medicine roots | 0,21   | 0,07 | 0,44 | 0,18 | 0,15 | 0,36 | 0,84 | 0,30 | 0,84 |
| Корни лопуха обыкновенного /<br>Burdock common roots          | 0,20   | 0,07 | 0,55 | 0,27 | 0,22 | 0,30 | 0,66 | 0,37 | 0,72 |
| Среднее значение / Mean value                                 | 0,10   | 0,07 | 0,33 | 0,19 | 0,20 | 0,16 | 0,21 | 0,42 | 0,68 |

подорожника большого и крапивы двудомной, травы полыни горькой, горца птичьего, пустырника пятилопастного, корни лопуха обыкновенного. Хром наиболее активно накапливается в корнях и листьях высших растений. Кобальт накапливается преимущественно в корнях растения, примерно в 8–10 раз эффективнее, чем других анализируемых видах лекарственного растительного сырья.

Медь эффективнее всего накапливается в травах (полыни горькой, тысячелистника обыкновенного, пустырника пятилопастного, горца птичьего). Цинк – эффективнее всего корнями одуванчика лекарственного, лопуха обыкновенного, травами полыни горькой, горца птичьего, пустырника пятилопастного [13–22].

При анализе значений коэффициентов накопления построены ряды убывания эффективности аккумуляции элементов во всех изучаемых видах ЛРС (табл. 3).

Для детального анализа особенностей накопления тяжелых металлов и мышьяка из почв в ЛРС были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона, которые показали наличие тесной положительной взаимосвязи между концентрациями в почве и ЛРС для большинства определяемых элементов, что указывает на преимущественное загрязнение ЛРС через грунт и малый вклад аэрозольного загрязнения (табл. 4). Слабая корреляционная связь между концентрациями ртути в почвах и ЛРС в данном случае может быть объяснена низкими содержаниями элемента в образцах сырья, но косвенно может указывать на загрязнение его посредством атмосферных выбросов [9].

На основе проведенного исследования можно утверждать, что для изучаемых видов ЛРС происходит формирование экотипов, образующихся в условиях техногенного загрязнения окружающей среды Воронежской области, и проявление адаптации к этим условиям [9, 16, 18, 22].



Таблица 3 / Table 3

**Ряды убывания эффективности аккумуляции тяжелых металлов в ЛРС**  
**Series of decreasing efficiency of heavy metals accumulation in medicinal plant raw materials**

| ЛРС / Medicinal plant raw materials                           | Ряд убывания эффективности аккумуляции тяжелых металлов /<br>A series of decreases in the efficiency of accumulation of heavy metals |
|---|--|
| Трава горца птичьего / Mountain bird Grass                    | Zn > Cu > Ni > Cr > Pb > Co > Cd > As > Hg   |
| Трава полыни горькой / Bitter wormwood grass                  | Zn = Cu > Cd > As > Ni > Hg > Cr = Pb > Co   |
| Трава тысячелистника обыкновенного /<br>Millennial herb       | Cu > Zn > As > Cd > Ni > Pb > Co = Hg > Cr   |
| Трава пустырника пятилопастного /<br>Five-bladed dummy grass  | Zn > Cu > Cd > Ni > As > Co > Cr = Pb = Hg   |
| Листья подорожника большого /<br>Big plantain leaves          | Zn > Cd > As > Ni > Cr > Cu > Co = Hg > Pb   |
| Листья крапивы двудомной /<br>Nettle dioecious leaves         | Zn > Cu > Ni > Cr > Hg > As > Co > Pb > Cd   |
| Цветки липы сердцевидной /<br>Heart-shaped flowers            | Zn > Cu > Cd > Ni > Co > Cr = Hg > As = Pb   |
| Цветки пижмы обыкновенной /<br>Common linden flowers          | Zn > Cu > Ni = Cd > As > Co > Cr > Hg > Pb   |
| Корни одуванчика лекарственного /<br>Dandelion medicine roots | Zn = Co > Cd > Cr > Cu > Pb > As > Ni > Hg   |
| Корни лопуха обыкновенного /<br>Burdock common roots          | Zn > Co > Cd > Cu > Cr > As > Ni > Pb > Hg   |

Таблица 4 / Table 4

**Коэффициенты корреляции содержания тяжелых металлов в почве и ЛРС**  
**Correlation coefficients of heavy metals content in soil and medicinal plant raw materials**

| ЛРС / Medicinal plant raw materials                           | Коэффициенты корреляции / Correlation coefficients |       |      |      |      |      |      |      |      |
|---|--|-------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | Pb   | Hg    | Cd   | As   | Ni   | Cr   | Co   | Cu   | Zn   |
| Трава горца птичьего / Mountain bird Grass                    | 0,94   | 0,00  | 0,66 | 0,92 | 0,74 | 0,81 | 0,52 | 0,86 | 0,73 |
| Трава полыни горькой / Bitter wormwood grass                  | 0,79   | 0,27  | 0,51 | 0,86 | 0,71 | 0,82 | 0,72 | 0,70 | 0,97 |
| Трава тысячелистника обыкновенного /<br>Millennial herb       | 0,87   | -0,09 | 0,59 | 0,86 | 0,72 | 0,84 | 0,86 | 0,87 | 0,83 |
| Трава пустырника пятилопастного /<br>Five-bladed dummy grass  | 0,68   | 0,26  | 0,74 | 0,86 | 0,78 | 0,87 | 0,82 | 0,86 | 0,91 |
| Листья подорожника большого /<br>Big plantain leaves          | 0,80   | 0,37  | 0,53 | 0,82 | 0,55 | 0,79 | 0,85 | 0,80 | 0,78 |
| Листья крапивы двудомной /<br>Nettle dioecious leaves         | 0,74   | 0,38  | 0,44 | 0,41 | 0,74 | 0,78 | 0,78 | 0,68 | 0,89 |
| Цветки липы сердцевидной /<br>Heart-shaped flowers            | 0,66   | -0,01 | 0,51 | 0,60 | 0,50 | 0,53 | 0,66 | 0,68 | 0,84 |
| Цветки пижмы обыкновенной /<br>Common linden flowers          | 0,82   | -0,01 | 0,60 | 0,05 | 0,78 | 0,70 | 0,70 | 0,80 | 0,91 |
| Корни одуванчика лекарственного /<br>Dandelion medicine roots | 0,74   | 0,14  | 0,48 | 0,85 | 0,70 | 0,80 | 0,81 | 0,81 | 0,94 |
| Корни лопуха обыкновенного /<br>Burdock common roots          | 0,78   | 0,33  | 0,82 | 0,85 | 0,63 | 0,80 | 0,85 | 0,77 | 0,91 |



## Заключение

Проведены фундаментальные региональные эколого-гигиенические исследования качества ЛРС на примере Воронежской области, изучены особенности накопления наиболее опасных тяжелых металлов и мышьяка в ЛРС, произрастающем как в традиционных местах заготовки, так и в антропогенно нарушенных экотопах. Наиболее высокий уровень накопления свинца отмечен в корнях одуванчика лекарственного и лопуха обыкновенного, траве горца птичьего, листьях подорожника. Накопление ртути во всех изучаемых образцах в целом низкое, но более высокий уровень ее аккумуляции отмечается в листьях подорожника большого и крапивы двудомной, траве полыни горькой. Более высокие коэффициенты накопления кадмия выявлены в травах полыни горькой и пустырника пятилопастного, корнях лопуха обыкновенного и одуванчика лекарственного, листьях подорожника большого. Мышьяк наиболее интенсивно аккумулируется в травах полыни горькой и тысячелистника обыкновенного, листьях подорожника большого, корнях лопуха обыкновенного. Никель интенсивно накапливается листьями подорожника большого и крапивы двудомной, травами пустырника пятилопастного и горца птичьего. Наиболее активными концентраторами хрома и кобальта являются корни; хром также активно накапливается в листьях изучаемых растений. Высоким накоплением меди отличались травы. Цинк в наибольшей степени аккумулируется в исследуемых корнях и травах растений. При анализе средних значений коэффициентов накопления тяжелых металлов и мышьяка всеми изучаемыми видами лекарственного растительного сырья можно построить ряд убывания общей средней эффективности аккумуляции определяемых элементов данными растениями, который выглядит следующим образом: цинк > медь > кадмий > кобальт > никель > мышьяк > хром > свинец > ртуть. При анализе значений коэффициентов накопления построены ряды убывания эффективности аккумуляции элементов во всех изучаемых видах лекарственного растительного сырья. Детальный анализ особенностей накопления тяжелых металлов и мышьяка из почв в лекарственном растительном сырье показал наличие тесной положительной взаимосвязи между концентрациями в почве и растениях для большинства определяемых элементов, что указывает на преимущественное загрязнение растительного сырья через грунт.

## Список литературы

1. Егорова И. Н., Колмогорова Е. Ю. Оценка качества и безопасности листьев *Betula pendula* Roth., заготовленных в условиях породного отвала угольного разреза «Кедровский» в Кузбассе // Современные проблемы науки и образования. Биологические науки (электронный журнал). 2015. № 2, ч. 1.
2. Егорова И. Н., Неверова О. А., Григорьева Т. И. Оценка содержания тяжелых металлов в почках *Pinus sylvestris* L., произрастающей на породном отвале угольного разреза // Современные проблемы науки и образования. Биологические науки (электронный журнал). 2015. № 6.
3. Егорова И. Н., Неверова О. А. Оценка содержания тяжелых металлов в *Sanguisorba officinalis* L., произрастающей на нарушенных угледобычей землях // Современные проблемы науки и образования. Биологические науки (электронный журнал). 2014. № 6.
4. Арзамасцев А. П., Коваленко Л. И., Родионова Г. М., Чумакова З. В., Зрелова Л. В. Основы экологии и охраны природы. М. : Медицина, 2008. 416 с.
5. Попов А. И., Егорова И. Н. Состояние ресурсной базы дикорастущих лекарственных растений Мариинского, Тяжинского и Чебулинского районов Кемеровской области // Химико-фармацевтический журнал. 1992. Т. 26, № 3. С. 71–73.
6. Нечаева Е. Г., Белозерцева И. А., Напрасникова Е. В. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем сибирских регионов. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 2010. 315 с.
7. Дьякова Н. А., Самылина И. А., Сливкин А. И., Гапонов С. П., Мындра А. А. Оценка содержания тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье Воронежской области // Химико-фармацевтический журнал. 2018. Т. 52, № 3. С. 32–35.
8. Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Гапонов С. П. Сравнение особенностей накопления основных токсических элементов цветками липы сердцевидной и пижмы обыкновенной // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2017. № 1. С. 148–154.
9. Дьякова Н. А. Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области. Воронеж : Цифровая полиграфия, 2022. 264 с.
10. Универсальная энциклопедия лекарственных растений / сост. И. Н. Путырский, В. Н. Прохоров. М. : Махаон, 2000. 656 с.
11. Куркин В. А. Фармакогнозия. Самара : СамГМУ, 2004. 1180 с.
12. Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. Т. 2. М. : ФЭМБ, 2018. URL: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php> (дата обращения: 20.03.2022).
13. Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов цветками липы сердцевидной, произрастающей в агро- и



- урбоэкосистемах Воронежской области // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. № 5. С. 70–79. <https://doi.org/10.17076/eco1150>
14. Дьякова Н. А. Экологическая оценка лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере цветков пижмы обыкновенной // Вестник Нижневартковского государственного университета. Биологические науки. 2020. № 1. С. 19–26. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/04>
  15. Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Гапонов С. П. Изучение накопления тяжелых металлов и мышьяка и оценка влияния поллютантов на содержание флавоноидов у *Polygonum aviculare* (Caryophyllales, Polygonaceae) // Вестник Камчатского технического государственного университета. 2019. № 48. С. 71–77. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2020-59-61-72>
  16. Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка лекарственным растительным сырьем лопуха обыкновенного // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 478–487. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487>
  17. Дьякова Н. А. Анализ накопления тяжелых металлов и мышьяка травой *Leonurus quinquelobatus* Gilib. // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2021. № 2 (54). С. 48–56. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06>
  18. Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка травой полыни // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 4. С. 445–453. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-4-445-453>
  19. Дьякова Н. А. Особенности накопления тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье тысячелистника обыкновенного, собранного в урбо- и агробиоценозах Воронежской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2020. Т. 28, № 3. С. 213–224. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-213-224>
  20. Дьякова Н. А. Особенности накопления тяжелых металлов и мышьяка в лекарственном растительном сырье одуванчика лекарственного, собранного в урбо- и агробиоценозах Воронежской области // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2021. Т. 24, № 3. С. 49–55. <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-03-07>
  21. Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка листьями крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) // Ульяновский медико-биологический журнал. 2020. № 2. С. 145–156. <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2020-2-145-156>
  22. Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка листьями подорожника большого // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 2. С. 232–239. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-232-239>

## References

1. Egorova I. N., Kolmogorova E. Yu. Assessment of the quality and safety of *Betula pendula* Roth leaves harvested in the conditions of the Kedrovsky coal mine rock dump in Kuzbass. *Modern Problems of Science and Education*, 2015, no. 2, part 1 (in Russian).
2. Egorova I. N., Neverova O. A., Grigor'eva T. I. Assessment of the content of heavy metals in the kidneys of *Pinus sylvestris* L., growing on the rock dump of a coal mine. *Modern Problems of Science and Education*, 2015, no. 6 (in Russian).
3. Egorova I. N., Neverova O. A. Assessment of the content of heavy metals in *Sanguisorba officinalis* L., growing on disturbed coal-mining lands. *Modern Problems of Science and Education*, 2014, no. 6 (in Russian).
4. Arzamastsev A. P., Kovalenko L. I., Rodionova G. M., Chumakova Z. V., Zrelva L. V. *Osnovy ekologii i ohrany prirody* [Fundamentals of Ecology and Nature Conservation]. Moscow, Meditsina Publ., 2008. 416 p. (in Russian).
5. Popov A. I., Egorova I. N. The state of the resource base of wild medicinal plants of the Mariinsky, Tyazhinsky and Chebulinsky districts of the Kemerovo region. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 1992, iss. 3, pp. 71–73 (in Russian).
6. Nechaeva E. G., Belozerceva I. A., Naprasnikova E. V. *Monitoring i prognozirovaniye veshchestvenno-dinamicheskogo sostoyaniya geosistem sibirskikh regionov* [Monitoring and forecasting of real-dynamic state of geosystems of Siberian regions]. Novosibirsk, Nauka. Sib. otd-nie Publ., 2010. 315 p. (in Russian).
7. D'yakova N. A., Samylina I. A., Slivkin A. I., Gaponov S. P., Myndra A. A. Assessment of the content of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials of the Voronezh Region. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2018, iss. 3, pp. 32–35 (in Russian).
8. D'yakova N. A., Slivkin A. I., Gaponov S. P. Comparison of the peculiarities of the accumulation of the main toxic elements by the flowers of heart-shaped linden and ordinary tansy. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2017, no. 1, pp. 148–154 (in Russian).
9. D'yakova N. A. *Ekologicheskaya otsenka syr'evykh resursov lekarstvennykh rasteniy Voronezhskoi oblasti* [Environmental assessment of raw materials of medicinal plants of the Voronezh region]. Voronezh, Tsifrovaya poligrafiya Publ., 2022. 264 p. (in Russian).
10. *Universal'naya entsiklopediya lekarstvennykh rasteniy*. Sost. Putyrskij I. N., Prohorov V. N. [Putyrskij I. N., Prohorov V. N., comp. Universal Encyclopedia of Medicinal Plants]. Moscow, Mahaon Publ., 2000. 656 p. (in Russian).
11. Kurkin V. A. *Farmakognoziya* [Pharmacognosy]. Samara, SamGMU Publ., 2004. 1180 p. (in Russian).
12. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossijskoi Federatsii* (State Pharmacopoeia of the Russian Federation, ed. XIV, vol. 2). Moscow, FEMB Publ., 2018. 1423 p. Available at: <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php>. (accessed 20 March 2022) (in Russian).



13. D'yakova N. A. Accumulation of heavy metals by linden flowers of heart-shaped linden growing in agro- and urban eco-systems of the Voronezh region. *Transactions of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 2020, no. 5, pp. 70–79 (in Russian). <https://doi.org/10.17076/eco1150>
14. D'yakova N. A. Environmental assessment of medicinal plant raw materials of the Voronezh region on the example of ordinary tansy flowers. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University. Biological Sciences*, 2020, no. 1, pp. 19–26 (in Russian). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-1/04>
15. D'yakova N. A., Slivkin A. I., Gaponov S. P. Study of the accumulation of heavy metals and arsenic and assessment of the influence of pollutants on the content of flavonoids in *Polygonum aviculare* (Caryophyllales, Polygonaceae). *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 2019, no. 48, pp. 71–77 (in Russian). <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2020-59-61-72>
16. Dyakova N. A. Accumulation of heavy metals and arsenic with medicinal herbal raw material of common shovel harvested in Voronezh region. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 478–487 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487>
17. D'yakova N. A. Analysis of the accumulation of heavy metals and arsenic by the grass *Leonurus quinquelobatus* Gilib. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University. Biological Sciences*, 2021, no. 2 (54), pp. 48–56 (in Russian). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06>
18. Dyakova N. A. Accumulation of heavy metals and arsenic by medicinal plant raw material of *Bitter Hollow*. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 4, pp. 445–453 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-4-445-453>
19. D'yakova N. A. Peculiarities of the accumulation of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials of yarrow of ordinary, collected in urban and agrobiocenoses of the Voronezh region. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 2020, vol. 28, no. 3, pp. 213–224 (in Russian). <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2020-28-3-213-224>
20. D'yakova N. A. Peculiarities of accumulation of heavy metals and arsenic in medicinal plant raw materials of medicinal dandelion collected in urbo- and agrobiocenoses of Voronezh region. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*, 2021, vol. 24, no. 3, pp. 49–55 (in Russian). <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-03-07>
21. D'yakova N. A. Accumulation of heavy metals and arsenic by *Urtica dioica* L. *Ulyanovsk Medico-Biological Journal*, 2020, no. 2, pp. 145–156 (in Russian). <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2020-2-145-156>
22. Dyakova N. A. Accumulation of heavy metals and arsenic in the leaves of *Plantago major*. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 2, pp. 232–239 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-232-239>

Поступила в редакцию 26.07.22; одобрена после рецензирования 07.11.22; принята к публикации 05.12.22  
 The article was submitted 26.07.22; approved after reviewing 07.11.22; accepted for publication 05.12.22