

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-81-96>

Фракционный состав соединений меди (Cu), хрома (Cr) и свинца (Pb) в лекарственных растениях Ростовской и Новосибирской областей

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Виктор Анатольевич Чаплыгин
E-mail: chaplygin@sfedu.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Чаплыгин В.А., Сиромля Т.И., Черникова Н.П., Барахов А.В., Смахунов А.Е., Бадмаева А.А., Кесвани Ч., Манджиева С.С., Минкина Т.М. Фракционный состав соединений меди (Cu), хрома (Cr) и свинца (Pb) в лекарственных растениях Ростовской и Новосибирской областей. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(2):81-96. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-81-96> EDN OXQLNB

ПОСТУПИЛА: 09.04.2026

ДОРАБОТАНА: 28.05.2026

ПРИНЯТА: 03.06.2026

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-77-10097-П) в Южном федеральном университете.

COPYRIGHT: © 2026

Чаплыгин В.А.,
Сиромля Т.И.,
Черникова Н.П.,
Барахов А.В.,
Смахунов А.Е.,
Бадмаева А.А.,
Кесвани Ч.,
Манджиева С.С.,
Минкина Т.М.



В.А. Чаплыгин ¹ , Т.И. Сиромля ² , Н.П. Черникова ¹ ,
А.В. Барахов ¹ , А.Е. Смахунов ¹ , А.А. Бадмаева ¹ ,
Ч. Кесвани ¹ , С.С. Манджиева ^{1,3} , Т.М. Минкина ¹

¹ Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

² Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

³ Калмыцкий научный центр РАН, Элиста, Россия

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ. В России около 40 % используемых фитопрепаратов изготавливаются из дикорастущего растительного сырья, поэтому необходимость учета его экологического состояния остается актуальной. В то же время фракционный состав меди (Cu), хрома (Cr) и свинца (Pb) в лекарственных растениях на импактных территориях изучен недостаточно, что ограничивает оценку их безопасности при получении фитопрепаратов.

ЦЕЛЬ. Оценить фракционный состав соединений Cu, Cr и Pb в дикорастущих лекарственных растениях Ростовской и Новосибирской областей и выявить влияние региональных и антропогенных факторов на распределение этих элементов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Объектами исследования были виды семейства *Asteraceae*, *Plantaginaceae*, *Papaveraceae* и *Urticaceae*. Фракционный состав элементов в растительных образцах определяли по авторской методике Сиромля.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Для Cr и Cu преобладающей оказалась водная фракция (ФI) по сравнению с водно-спиртовой (ФII), тогда как для Pb ситуация обратная — большая доля приходилась на ФII. Во всех исследованных видах доминировала солянокислая фракция (ФIII). Наибольшая подвижность отмечена у Cu, наименьшая — у Cr. Существенный рост содержания металлов отмечен преимущественно в двух первых фракциях, соответствующих методикам получения фитопрепаратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Распределение металлов в растениях определяется как химическими свойствами самих элементов, так и биологическими особенностями видов. Полученные данные могут быть использованы при пересмотре и уточнении нормативов Государственной фармакопеи. Перспективным направлением дальнейших исследований является расширение географии мониторинга и перечня анализируемых элементов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тяжелые металлы, техногенное загрязнение, нормативы фармакопеи, экологический мониторинг, фракционный состав

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-81-96>

Fractional composition of copper (Cu), chromium (Cr), and lead (Pb) compounds in medicinal plants of the Rostov and Novosibirsk Oblasts

CORRESPONDENCE:

Viktor A. Chaplygin

E-mail: chaplygin@sfedu.ru

FOR CITATION:

Chaplygin V.A., Siromlya T.I., Chernikova N.P., Barakhov A.V., Smekhunov A.V., Badmaeva A.A., Keswani Ch., Mandzhieva S.S., Minkina T.M. Fractional composition of copper (Cu), chromium (Cr), and lead (Pb) compounds in medicinal plants of the Rostov and Novosibirsk Oblasts. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2026;16(2):81-96. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-2-81-96>

RECEIVED: 09.04.2026

REVISED: 28.05.2026

ACCEPTED: 03.06.2026

DECLARATION OF COMPETING INTEREST:
none declared.

FUNDING.

The study was supported by the Russian Science Foundation (project No. 22-77-10097-P) at the Southern Federal University.

COPYRIGHT: © 2026 Chaplygin V.A., Siromlya T.I., Chernikova N.P., Barakhov A.V., Smekhunov A.V., Badmaeva A.A., Keswani C., Mandzhieva S.S., Minkina T.M.



Viktor A. Chaplygin ¹ , Tatyana I. Siromlya ² , Natalya P. Chernikova ¹ , Anatoliy V. Barakhov ¹ , Anatoliy V. Smekhunov ¹ , Alina A. Badmaeva ¹ , Chetan Keswani ¹ , Saglara S. Mandzhieva ^{1,3} , Tatyana M. Minkina ¹

¹ Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

² Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

³ Kalmyk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Elista, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. In Russia, approximately 40% of the herbal medicinal products used are manufactured from wild-growing plant raw materials. Therefore, the need to account for the ecological status of such raw materials remains highly relevant. At the same time, the fractional composition of copper (Cu), chromium (Cr), and lead (Pb) compounds in medicinal plants growing in impacted areas remains insufficiently studied, which limits the ability to assess their safety for the production of herbal medicine.

AIM. To evaluate the fractional composition of Cu, Cr, and Pb compounds in wild-growing medicinal plants from the Rostov and Novosibirsk regions and to identify the influence of regional and anthropogenic factors on the distribution of these elements.

MATERIALS AND METHODS. The research studied plant species belonging to *Asteraceae*, *Plantaginaceae*, *Papaveraceae* and *Urticaceae* families. The fractional composition of the elements in samples was determined using Siromlya's original method.

RESULTS. For Cr and Cu, the aqueous fraction (FI) predominated over the aqueous-alcoholic fraction (FII), whereas for Pb, the opposite pattern was observed — the majority of the element was found in FII. The hydrochloric acid fraction (FIII) dominated in all the studied species. Cu exhibited the highest mobility, while Cr showed the lowest mobility. A significant increase in the metal content was noted mainly in the first two fractions corresponding to the extraction methods used in the preparation of herbal medicines.

CONCLUSION. The distribution of metals in plants was determined both by the chemical properties of the elements themselves and by the biological characteristics of the species. The findings may be used in the revision and clarification of the regulations of the State Pharmacopoeia. A promising area for further research is to expand the geographical scope of monitoring and the range of elements analyzed.

KEYWORDS: heavy metals, technogenic pollution, pharmacopoeial standards, environmental monitoring, fractional composition

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация промышленного и энергетического производства в России и мире способствует резкому росту площади деградированных земель и обуславливает устойчивый рост загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ), которые признаны приоритетными токсикантами наземных экосистем и ключевым фактором риска для здоровья населения [1–3]. Атмосферные выбросы тепловых электростанций (ТЭЦ), металлургических и машиностроительных предприятий формируют пространственную структуру техногенной нагрузки в большинстве регионов России, создавая контрастные градиенты концентраций марганца (Mn), цинка (Zn), меди (Cu), никеля (Ni), свинца (Pb), кадмия (Cd) и хрома (Cr) в почвах и растительности, что подтверждено многочисленными исследованиями промышленных агломераций Центральной и Восточной Европы, Поволжья и Сибири [4; 5]. Также серьезную проблему представляет загрязнение дикорастущих лекарственных растений: в отличие от сельскохозяйственных культур, они практически не контролируются по содержанию элементов-токсикантов, но активно используются населением в виде отваров и настоев, что создает дополнительный, трудно учитываемый источник поступления металлов в организм человека. Около 40 % фитопрепаратов, применяемых в России, производят из дикорастущего растительного сырья, что подчеркивает актуальность контроля экологического состояния лекарственных растений [6].

Современные исследования показывают, что лекарственные растения из зон техногенного влияния накапливают канцерогенные и нефротоксичные элементы (Cd, Pb, Ni) в концентрациях, сопоставимых с фармакопейными нормативами и рекомендациями ВОЗ или превышающих их [7; 8]. При этом реальный риск определяется не столько валовым содержанием металлов в сырье, сколько их фактическим переходом в подвижные формы и биодоступностью [9]. Современные глобальные исследования по фитодепонированию металлов демонстрируют значительную видовую специфичность и указывают на высокий потенциал ряда таксонов семейств *Asteraceae* и *Urticaceae* к накоплению Cd, Ni и Zn, что совпадает с перечнем массово заготавливаемых в России лекарственных видов [6; 9; 10].

В качестве объектов исследования в данной работе выбраны степная зона юга европейской части Рос-

сии и лесостепная зона юго-востока Западной Сибири — два контрастных, но сопоставимых по уровню антропогенной трансформации региона. Здесь сочетаются крупные объекты теплоэнергетики, горнодобывающей и металлургической промышленности с территориями особо охраняемых природных территорий и рекреационными зонами [11; 12]. Для степной зоны Северного Приазовья характерно преобладание таких типов почв, как черноземы обыкновенные и лугово-черноземные почвы [11; 13], тогда как в лесостепной зоне Новосибирской агломерации широко распространены различные подтипы черноземов, дерново-подзолистые и серые лесные почвы [12]. Они существенно различаются по гранулометрическому составу, емкости катионного обмена и буферным свойствам, что определяет особенности биодоступности элементов для растений. При этом для обоих регионов характерно богатое фиторазнообразие дикорастущих лекарственных трав из семейств *Asteraceae*, *Plantaginaceae*, *Papaveraceae* и *Urticaceae*, которые традиционно используются местным населением и формируют существенный, но практически неизученный источник поступления металлов в трофические цепи [7; 11; 14].

Долгое время содержание ТМ в растениях считалось концентрацией относительно однородных биодоступных соединений, на основе которой формировались нормативы [15]. Впервые было установлено, что поглощенные организмом растения элементы имеют различную подвижность, на основании которой делятся на несколько фракций. В настоящее время в литературе обычно приводится информация о содержании элементов в водных и водно-спиртовых экстрактах лекарственных растений, поскольку они применяются именно в таких лекарственных формах [16]. Для более подробного изучения качественных и количественных особенностей перехода химических элементов в различные экстракты из лекарственных растений Т. И. Сиромля [16] была разработана схема последовательного фракционирования ТМ из растений, аналогичная методикам, применяющимся при определении форм соединений ТМ в почвах. Ее базовым принципом является последовательная экстракция из одной навески, начиная с самого «слабого» экстрагента и заканчивая наиболее «сильным». Данная схема хорошо зарекомендовала себя при изучении *Plantago major*, отобранного на территории г. Новосибирска.

Цель работы — изучить фракционный состав соединений Cu, Cr и Pb в дикорастущих травянистых

лекарственных растений юга европейской части России и юго-востока Западной Сибири на основе разработанной схемы последовательного экстрагирования и определить степень извлечения металлов из лекарственного сырья различными экстрагентами, применяемыми для приготовления фитопрепаратов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Этические аспекты

Исследование выполнено на дикорастущих лекарственных травянистых растениях и почвах импактных территорий. Работа не предусматривала экспериментов на животных или людях, поэтому этические заключения не требовались.

Объекты и площадки исследования

Экспедиционные исследования проведены в степной зоне Ростовской области на импактной территории Новочеркасской ГРЭС (НчГРЭС) и в лесостепной зоне Новосибирской области на импактной территории Новосибирского оловянного комбината (НОК). Для оценки влияния техногенного загрязнения на фракционный состав тяжелых металлов (ТМ) в дикорастущих лекарственных растениях в различных почвенно-климатических зонах были выбраны две площадки мониторинга, подверженные наиболее высокому уровню антропогенной нагрузки. На импактной территории в степной зоне юга европейской части России (Ростовская область) была заложена площадка мониторинга, расположенная в 1,6 км от НчГРЭС на линии преобладающего направления ветров в данном районе. В лесостепной зоне юго-востока Западной Сибири (Новосибирская область) площадка мониторинга расположена в непосредственной близости (90 м) от НОК.

Отбор растительного материала

С площадок мониторинга отобраны лекарственные дикорастущие травянистые растения, широко представленные в исследуемых зонах: тысячелистник щетинистый (*Achillea setacea* Waldst. & Kit.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.),

ромашка лекарственная (*Matricaria chamomilla* L.), подорожник большой (*Plantago major* L.), полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Jacq.), полынь Сиверса (*Artemisia sieversiana* Willd), чистотел большой (*Chelidonium majus* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg. S.l.), крапива двудомная (*Urtica dioica* L.).

Растения извлекались из почвы с корневой частью в различных точках площадок мониторинга вместе с монолитом почвы, во избежание потери части корневой системы¹. Проанализирован элементный состав лекарственных травянистых растений исследуемых территорий и распределение ТМ в различных частях растений. Фракционный состав форм соединений ТМ в растениях основан на 4 последовательных стадиях обработки растительных образцов различными экстрагентами и позволяет выделять ФІ — водную (H₂O дист.), ФІІ — водно-спиртовую (40 % C₂H₅OH), ФІІІ — солянокислую (10 % HCl) и ФІV — кислотную (конц. HNO₃ + конц. HCl + 30 % H₂O₂) фракции [16]. Остаток, нерастворимый после обработки концентрированными кислотами, выделяется в V фракцию (силикатную). Водные отвары и водно-спиртовые (40 % C₂H₅OH) настои готовили по стандартным методикам [17; 18]: измельченное сырье (около 5 мм) заливали дистиллированной водой (100 °C) в соотношении 1:10 и кипятили 30 минут, остужали при комнатной температуре в течение 10 минут. После ФІ фильтр (синяя лента) с сырьем помещался в исходную колбу, высушивался, затем проводилась экстракция по ФІІ. К сырью после ФІ приливали 40 % C₂H₅OH в соотношении 1:10 и нагревали на водяной бане 10 минут, остужали при комнатной температуре 30 минут, выдерживали плотно закрытые колбы при температуре 5 °C 2 суток. После ФІІ сырье из колбы максимально полно переносили на фильтр, который затем помещали в кварцевую чашку, высушивали, озоляли в муфельной печи (500 °C) в течение 3 часов, добавляли 25 мл 10 % HCl, кипятили 10 минут, остужали, фильтровали, доводили до 50 мл 1 % раствором HNO₃. Озоляли фильтр с остатком золы, нерастворимой в 10 % HCl, в муфельной печи (450–550 °C). Проводили экстракцию смесью кислот: 2 мл HNO₃ конц., 2 мл HCl конц., 2 мл 30 % H₂O₂, выпаривали до влажных солей. Добавляли 1 % HNO₃ для растворения осадка. Содержание ТМ в экстрактах опреде-

¹ ГОСТ 27262–87. Корма растительного происхождения. Методы отбора проб : Межгосударственный стандарт. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30.03.87 № 1073. Дата введения 1988-07-01.

ляли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре с пламенной атомизацией «Квант-2МТ». Нерастворимый остаток золы после ФIV анализировали методом атомно-эмиссионного спектрографического анализа с дуговым аргонным двухструйным плазмотроном. Анализы выполнены в трех аналитических повторностях.

Анализ данных

Для оценки фракционного распределения Cu, Cr и Pb в растительных образцах использовали описательную статистику (средние значения по трем аналитическим повторностям). Выбор данного типа обработки обусловлен необходимостью сравнения содержания металлов в пяти фракциях в зависимости от вида растения, региона и антропогенной нагрузки. Поскольку цель работы не включала проверку статистических гипотез о различиях между

группами (например, сравнение средних методами ANOVA), а требовала установления закономерностей распределения элементов по фракциям, применение описательной статистики и качественного анализа является наиболее уместным. Трехкратная аналитическая повторяемость обеспечивает воспроизводимость результатов внутри каждой фракции для каждого образца.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Последовательное фракционирование ТМ в растениях фоновых территорий двух природных зон показало, что в водные отвары (ФИ) переходит до 24 % Cu и Pb, содержание которых не превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК), нормированную требованиями Государственной фармакопеи РФ [18] (таблицы 1, 2).

Таблица 1

Фракционный состав соединений Cr, Cu и Pb в дикорастущих лекарственных растениях фоновых территорий Ростовской области, мг/кг

Table 1

Fractional composition of Cr, Cu and Pb compounds in wild medicinal plants of background areas of the Rostov region, mg/kg

Вид растения	Фракция					Сумма фракций
	I	II	III	IV	V	
Cr						
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	<u>0,11±0,01*</u> 0,34±0,02	<u>0,11±0,01</u> 0,68±0,04	<u>5,2±0,3</u> 7,3±0,5	<u>2,9±0,2</u> 4,6±0,3	<u>2,9±0,2</u> 4,1±0,2	<u>11,2**</u> 16,9
<i>Achillea setacea</i> Waldst & Kit	<u>0,02±0,001</u> 0,16±0,01	<u>0,04±0,003</u> 0,16±0,01	<u>1,0±0,1</u> 3,7±0,2	<u>0,6±0,04</u> 1,9±0,1	<u>0,5±0,03</u> 2,3±0,1	<u>2,2</u> 8,2
<i>Cichorium intybus</i> L.	<u>0,18±0,01</u> 0,63±0,04	<u>0,12±0,01</u> 0,75±0,05	<u>2,6±0,2</u> 4,4±0,3	<u>1,9±0,1</u> 3,5±0,2	<u>1,1±0,1</u> 3,3±0,2	<u>5,9</u> 12,5
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	<u>0,12±0,01</u> 0,32±0,02	<u>0,17±0,01</u> 0,51±0,03	<u>2,4±0,2</u> 2,8±0,2	<u>1,2±0,1</u> 1,8±0,1	<u>1,9±0,1</u> 1,0±0,1	<u>5,8</u> 6,4
<i>Artemisia absinthium</i> L.	<u>0,57±0,03</u> 0,61±0,04	<u>0,45±0,03</u> 1,23±0,08	<u>4,5±0,3</u> 7,5±0,5	<u>2,5±0,2</u> 4,6±0,3	<u>3,3±0,2</u> 1,4±0,1	<u>11,3</u> 15,4
<i>Plantago major</i> L.	<u>0,50±0,05</u> 0,09±0,01	<u>0,33±0,02</u> 0,09±0,01	<u>6,5±0,4</u> 5,6±0,4	<u>4,8±0,3</u> 2,9±0,2	<u>4,5±0,3</u> 0,5±0,003	<u>16,6</u> 9,2
Cu						
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	<u>0,8±0,05</u> 1,0±0,1	<u>0,9±0,1</u> 1,5±0,1	<u>1,0±0,1</u> 5,8±0,4	<u>0,1±0,01</u> 0,1±0,01	<u>0,2±0,01</u> 0,3±0,02	<u>3,1</u> 8,7
<i>Achillea setacea</i> Waldst & Kit	<u>1,4±0,1</u> 2,1±0,1	<u>0,5±0,03</u> 0,6±0,04	<u>1,0±0,1</u> 5,2±0,3	<u>0,4±0,03</u> 0,4±0,02	<u>0,1±0,01</u> 0,2±0,01	<u>3,4</u> 8,5
<i>Cichorium intybus</i> L.	<u>1,0±0,1</u> 1,1±0,1	<u>1,9±0,1</u> 1,7±0,1	<u>3,6±0,2</u> 1,9±0,1	<u>1,0±0,07</u> 1,2±0,08	<u>1,1±0,1</u> 0,2±0,01	<u>8,7</u> 6,1
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	<u>0,5±0,03</u> 0,3±0,02	<u>1,0±0,1</u> 1,1±0,1	<u>1,5±0,1</u> 2,1±0,1	<u>0,4±0,03</u> 0,4±0,02	<u>0,4±0,02</u> 0,4±0,02	<u>3,9</u> 4,2
<i>Artemisia absinthium</i> L.	<u>2,7±0,1</u> 1,1±0,1	<u>3,2±0,2</u> 1,5±0,1	<u>5,0±0,3</u> 2,8±0,2	<u>2,4±0,2</u> 0,3±0,02	<u>1,5±0,1</u> 0,3±0,02	<u>14,8</u> 6,1

Продолжение

Вид растения	Фракция					Сумма фракций
	I	II	III	IV	V	
<i>Plantago major</i> L.	<u>0,3±0,01</u> 0,2±0,01	<u>1,9±0,1</u> 1,3±0,1	<u>2,5±0,2</u> 4,7±0,3	<u>0,8±0,05</u> 1,5±0,1	<u>0,4±0,02</u> 2,0±0,01	<u>5,9</u> 9,7
Pb						
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	<u>0,20±0,01</u> 0,07±0,004	<u>0,13±0,01</u> 0,13±0,01	<u>0,59±0,04</u> 0,85±0,05	<u>0,26±0,01</u> 0,30±0,02	<u>0,06±0,004</u> 0,08±0,01	<u>1,2</u> 1,4
<i>Achillea setacea</i> Waldst & Kit	<u>0,28±0,02</u> 0,03±0,002	<u>0,23±0,01</u> 0,49±0,03	<u>1,15±0,07</u> 1,49±0,09	<u>0,19±0,01</u> 0,04±0,002	<u>0,19±0,01</u> 0,23±0,02	<u>2,0</u> 2,3
<i>Cichorium intybus</i> L.	<u>0,07±0,003</u> 0,05±0,003	<u>0,10±0,01</u> 0,08±0,01	<u>0,32±0,02</u> 0,58±0,04	<u>0,10±0,01</u> 0,13±0,01	<u>0,01±0,001</u> 0,11±0,01	<u>0,6</u> 0,9
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	<u>0,15±0,008</u> 0,24±0,015	<u>0,21±0,01</u> 0,51±0,03	<u>0,35±0,02</u> 2,06±0,13	<u>0,09±0,01</u> 0,78±0,05	<u>0,05±0,003</u> 0,57±0,04	<u>0,9</u> 4,2
<i>Artemisia absinthium</i> L.	<u>0,54±0,029</u> 2,40±0,15	<u>0,31±0,02</u> 0,78±0,05	<u>1,03±0,06</u> 6,67±0,41	<u>0,17±0,01</u> 1,64±0,1	<u>0,24±0,02</u> 1,44±0,1	<u>2,3</u> 12,9
<i>Plantago major</i> L.	<u>0,09±0,005</u> 0,09±0,006	<u>0,12±0,01</u> 0,45±0,03	<u>0,44±0,03</u> 1,02±0,06	<u>0,02±0,001</u> 0,04±0,002	<u>0,03±0,002</u> 0,05±0,003	<u>0,7</u> 1,6

Примечание: * Ошибка средней; ** числитель — надземная часть, знаменатель — корни.

Note: * Standard error; ** numerator: above — ground part, denominator — roots.

Таблица 2

Фракционный состав соединений Cr, Cu и Pb в дикорастущих лекарственных растениях фоновых территорий Новосибирской области, мг/кг

Table 2

Fractional composition of Cr, Cu and Pb compounds in wild medicinal plants of background areas of the Novosibirsk region, mg/kg

Вид растения	Фракция					Сумма фракций
	I	II	III	IV	V	
Cr						
<i>Achillea millefolium</i> L.	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,18±0,006*</u> 1,4±0,04	<u>0,13±0,004</u> 0,8±0,03	<u>0,11±0,004</u> 0,4±0,01	<u>0,42**</u> 2,6
<i>Artemisia sieversiana</i> Willd	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,10±0,03</u> 0,7±0,03	<u>0,04±0,001</u> 0,2±0,01	<u>0,03±0,001</u> 0,2±0,01	<u>0,17</u> 1,1
<i>Chelidonium majus</i> L.	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,07±0,002</u> 0,7±0,03	<u>0,07±0,003</u> 0,4±0,01	<u>0,05±0,002</u> 0,2±0,01	<u>0,19</u> 1,3
<i>Cichorium intybus</i> L.	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,11±0,003</u> 2,1±0,07	<u>0,06±0,002</u> 1,5±0,05	<u>0,04±0,001</u> 1,7±0,05	<u>0,21</u> 5,3
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,04±0,001</u> 1,6±0,06	<u>0,03±0,001</u> 0,6±0,02	<u>0,04±0,001</u> 0,3±0,01	<u>0,11</u> 2,5
<i>Plantago major</i> L.	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,32±0,01</u> 4,5±0,18	<u>0,14±0,004</u> 2,9±0,1	<u>0,08±0,003</u> 2,2±0,07	<u>0,54</u> 9,6
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. s. l.	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,11±0,03</u> 1,8±0,06	<u>0,11±0,003</u> 0,9±0,03	<u>0,06±0,002</u> 1,2±0,03	<u>0,28</u> 3,9
<i>Urtica dioica</i> L.	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,00</u> 0,00	<u>0,24±0,008</u> 4,5±0,17	<u>0,12±0,004</u> 1,9±0,06	<u>0,18±0,006</u> 1,3±0,04	<u>0,54</u> 7,7
Cu						
<i>Achillea millefolium</i> L.	<u>0,8±0,03</u> 1,1±0,03	<u>0,7±0,03</u> 0,9±0,03	<u>3,9±0,15</u> 4,8±0,16	<u>0,5±0,002</u> 2,1±0,08	<u>0,2±0,001</u> 1,8±0,05	<u>6,1</u> 10,7
<i>Artemisia sieversiana</i> Willd	<u>1,3±0,04</u> 0,9±0,03	<u>1,1±0,03</u> 1,0±0,03	<u>5,0±0,19</u> 4,2±0,15	<u>0,2±0,001</u> 0,8±0,03	<u>0,1±0,0003</u> 0,7±0,02	<u>7,7</u> 7,6

Продолжение

Вид растения	Фракция					Сумма фракций
	I	II	III	IV	V	
<i>Chelidonium majus</i> L.	$1,3 \pm 0,03$ $1,3 \pm 0,04$	$0,8 \pm 0,003$ $1,1 \pm 0,03$	$5,6 \pm 0,21$ $5,6 \pm 0,21$	$0,6 \pm 0,002$ $1,8 \pm 0,06$	$0,2 \pm 0,001$ $1,9 \pm 0,06$	$8,5$ $11,7$
<i>Cichorium intybus</i> L.	$1,6 \pm 0,05$ $4,4 \pm 0,15$	$1,2 \pm 0,03$ $3,5 \pm 0,11$	$4,8 \pm 0,17$ $13,4 \pm 0,5$	$1,4 \pm 0,04$ $1,9 \pm 0,06$	$0,5 \pm 0,002$ $2,5 \pm 0,07$	$9,5$ $25,7$
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	$0,9 \pm 0,03$ $4,5 \pm 0,15$	$0,4 \pm 0,001$ $2,5 \pm 0,07$	$7,2 \pm 0,26$ $7,5 \pm 0,26$	$0,3 \pm 0,001$ $1,2 \pm 0,03$	$0,4 \pm 0,001$ $0,9 \pm 0,03$	$9,2$ $16,6$
<i>Plantago major</i> L.	$1,1 \pm 0,03$ $3,9 \pm 0,13$	$1,1 \pm 0,03$ $2,8 \pm 0,09$	$7,0 \pm 0,24$ $12,0 \pm 0,4$	$0,5 \pm 0,002$ $5,4 \pm 0,2$	$0,1 \pm 0,0004$ $8,0 \pm 0,27$	$9,8$ $32,2$
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. s. l.	$2,9 \pm 0,1$ $6,1 \pm 0,23$	$2,7 \pm 0,09$ $2,2 \pm 0,08$	$12,4 \pm 0,45$ $24,3 \pm 0,8$	$3,5 \pm 0,12$ $2,2 \pm 0,08$	$0,4 \pm 0,001$ $1,8 \pm 0,06$	$21,9$ $36,6$
<i>Urtica dioica</i> L.	$1,3 \pm 0,03$ $2,4 \pm 0,09$	$0,8 \pm 0,03$ $1,8 \pm 0,06$	$5,4 \pm 0,2$ $4,7 \pm 0,15$	$0,7 \pm 0,003$ $3,2 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,002$ $3,9 \pm 0,13$	$8,8$ $16,0$
Pb						
<i>Achillea millefolium</i> L.	$0,00$ $0,02 \pm 0,001$	$0,03 \pm 0,001$ $0,03 \pm 0,001$	$0,37 \pm 0,01$ $0,22 \pm 0,007$	$0,10 \pm 0,003$ $0,25 \pm 0,01$	$0,02 \pm 0,001$ $0,19 \pm 0,006$	$0,52$ $0,71$
<i>Artemisia sieversiana</i> Willd	$0,00$ $0,00$	$0,04 \pm 0,001$ $0,01 \pm 0,0003$	$0,31 \pm 0,01$ $0,07 \pm 0,002$	$0,09 \pm 0,003$ $0,05 \pm 0,002$	$0,03 \pm 0,001$ $0,04 \pm 0,001$	$0,47$ $0,17$
<i>Chelidonium majus</i> L.	$0,04 \pm 0,001$ $0,01 \pm 0,003$	$0,05 \pm 0,001$ $0,03 \pm 0,001$	$0,44 \pm 0,02$ $0,25 \pm 0,008$	$0,07 \pm 0,002$ $0,34 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,001$ $0,09 \pm 0,003$	$0,64$ $0,72$
<i>Cichorium intybus</i> L.	$0,00$ $0,11 \pm 0,003$	$0,01 \pm 0,0003$ $0,13 \pm 0,004$	$0,26 \pm 0,01$ $0,92 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,003$ $0,28 \pm 0,01$	$0,05 \pm 0,002$ $0,26 \pm 0,01$	$0,43$ $1,70$
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	$0,00$ $0,07 \pm 0,002$	$0,00$ $0,11 \pm 0,003$	$0,27 \pm 0,01$ $0,81 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,002$ $0,52 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,002$ $0,29 \pm 0,01$	$0,38$ $1,80$
<i>Plantago major</i> L.	$0,00$ $0,10 \pm 0,003$	$0,30 \pm 0,01$ $0,20 \pm 0,007$	$0,80 \pm 0,02$ $0,80 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,003$ $0,60 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,003$ $0,60 \pm 0,02$	$1,30$ $2,30$
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. s. l.	$0,00$ $0,20 \pm 0,007$	$0,20 \pm 0,01$ $0,10 \pm 0,003$	$0,40 \pm 0,02$ $0,50 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,003$ $0,20 \pm 0,007$	$0,02 \pm 0,001$ $0,30 \pm 0,01$	$0,72$ $1,30$
<i>Urtica dioica</i> L.	$0,11 \pm 0,03$ $0,08 \pm 0,002$	$0,12 \pm 0,04$ $0,11 \pm 0,003$	$0,53 \pm 0,02$ $0,31 \pm 0,01$	$0,10 \pm 0,003$ $0,59 \pm 0,02$	$0,04 \pm 0,002$ $0,30 \pm 0,01$	$0,90$ $1,39$

Примечание: * Ошибка средней; ** числитель — надземная часть, знаменатель — корни.

Note: * Standard error; ** numerator: above — ground part, denominator — roots.

Установлено, что на исследованных фоновых территориях большую долю элементов в растениях, переходящих в отвары (ФІ) и настои (ФІІ), занимает Cu. Наименее извлекаемым металлом из растений ФІ и ФІІ является Cr, который был ниже уровня определения прибора в лесостепной зоне (таблица 2). Характер распределения ТМ во фракциях I и II по органам подорожника большого, ромашки лекарственной и цикория обыкновенного, произрастающих в двух природных зонах, отличается акропетальным градиентом распределения элементов. В солянокислую фракцию (III) переходит большая часть всех исследованных ТМ (таблицы 1, 2). Распределение элементов по органам растений, определенных в экстрактах III фракции, значительно варьиру-

ет в зависимости от вида растений и металла. В кислотной (IV) и силикатной (V) фракциях извлекаются металлы, содержащиеся в нерастворимых осадках, то есть в минеральных примесях. Содержание данных фракций в подземных органах растений в основном значительно выше, чем в надземных. К наиболее извлекаемым элементам IV фракции из растений степной зоны относится Cr (до 32–34 %), а лесостепной — Pb (до 47–50 %). Большая доля среди ТМ, составляющих остаточную фракцию (V), принадлежит Cr для растений степной и лесостепной зон.

На импактной территории НчГРЭС наибольшее накопление Cr и Cu отмечается в надземной части полыни горькой (таблица 3).

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в корнях и надземной части растений, произрастающих на импактной территории степной и лесостепной зон, мг/кг

Table 3

The content of heavy metals in the roots and aboveground parts of plants growing in the impact area of steppe and forest-steppe zones, mg/kg

Вид растения	Cr	Cu	Pb
Ростовская область			
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	35,7±3,3* 32,4±2,2	2,9±0,2 15,1±1,3	16,5±1,3 13,3±1,2
<i>Achillea setacea</i> Waldst & Kit	17,0±1,3 35,0±3,2	4,5±0,4 17,4±1,5	8,9±0,7 26,4±2,2
<i>Cichorium intybus</i> L.	28,9±2,3 29,7±2,6	10,5±0,8 15,9±1,5	8,0±0,4 16,3±1,2
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	21,8±1,7 20,7±2,0	4,5±0,3 8,7±0,8	14,1±1,2 23,9±2,1
<i>Artemisia absinthium</i> L.	25,1±2,2 16,1±1,3	8,1±0,6 9,4±0,7	35,4±3,2 40,2±3,6
<i>Plantago major</i> L.	33,4±2,8 25,6±2,2	7,1±0,5 25,6±2,1	7,5±0,6 11,2±1,0
Новосибирская область			
<i>Achillea millefolium</i> L.	0,4±0,01 3,8±0,11	9,5±0,11 11,3±0,12	0,4±0,01 0,8±0,03
<i>Artemisia sieversiana</i> Willd	1,8±0,04 3,6±0,07	22,5±0,68 8,5±0,35	2,3±0,09 1,8±0,07
<i>Chelidonium majus</i> L.	0,6±0,01 4,2±0,07	10,2±0,22 22,8±0,58	0,7±0,03 1,3±0,06
<i>Cichorium intybus</i> L.	0,3±0,01 1,3±0,04	11,9±0,45 24,1±0,75	0,4±0,02 1,0±0,05
<i>Matricaria chamomilla</i> L.	0,1±0,00 1,4±0,02	14,1±0,32 15,6±0,40	0,7±0,02 0,8±0,03
<i>Plantago major</i> L.	0,9±0,02 4,5±0,15	11,3±0,30 25,6±0,65	0,9±0,03 3,5±0,10
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. s. l.	0,4±0,00 3,1±0,08	9,8±0,22 16,0±0,38	0,7±0,02 0,9±0,03
<i>Urtica dioica</i> L.	0,5±0,01 16,9±0,52	12,1±0,32 22,6±0,61	1,1±0,03 9,1±0,22
МДУ**	0,5	30,0	5,0
ПДК***	—	—	6,0

Примечание: * Ошибка средней; числитель — надземная часть, знаменатель — корни; ** временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. № 123—4/281. Утверждено Главным управлением ветеринарии Госагропрома СССР 7 августа 1987 г.; *** СанПиН 2.3.2.1078-01.

Note: * Standard error; numerator — above-ground part, denominator — roots; ** temporary maximum permissible levels (MPL) for the content of certain chemical elements and gossypol in feed for farm animals and feed additives, as per document No. 123-4/281, approved by the Main Directorate of Veterinary Medicine of the USSR State Agroprom on 7 August 1987; *** SanPiN 2.3.2.1078-01.

В корнях растений наибольшая аккумуляция Pb установлена для тысячелистника, Cu и Cr — для полыни горькой. В растениях полыни горькой отмечается превышение МДУ Pb в 6 раз и ПДК Pb — в 5 раз. В стеблях тысячелистника отмечается превышение МДУ Pb в 2 раза. В стеблях цикория установлено

превышение МДУ Pb в 2 раза. В стеблях пижмы установлено превышение МДУ Pb в 3 раза. Загрязнение Pb наблюдается во всех надземных органах пижмы. Содержание Pb превышает ПДК в 3 раза в стеблях пижмы. В стеблях ромашки установлено превышение МДУ Pb в 3 раза, ПДК Pb в 2 раза.

Установлены закономерности распределения элементов между надземной и подземной частью дикорастущих лекарственных растений. В растениях импактной зоны НчГРЭС, таких как полынь горькая, цикорий и пижма преимуществом аккумуляция большинства ТМ наблюдается в надземной части, что связано с большой суммарной площадью листовой поверхности данных видов, а также с их высотой. Эти виды являются самыми крупными среди рассматриваемых лекарственных растений, что обуславливает значительно более интенсивное оседание содержащих поллютанты пылевых частиц на их поверхности. Для видов, имеющих небольшую высоту (10–40 см), таких как подорожник и ромашка, отмечается значительная аккумуляция изучаемых элементов в корнях. Ромашка также имеет наименьшую площадь листовой поверхности среди рассматриваемых видов. Подорожник, несмотря на большую площадь листовой поверхности, на всех площадках мониторинга является растением третьего яруса, что ведет к «перехватыванию» частиц ТМ более высокими видами, составляющими растительный покров. Накопление ТМ в растениях импактной зоны НчГРЭС обуславливается двумя факторами: аэротехногенным загрязнением путем фоллиарного поступления в растения и депонирующей ролью корней, удерживающих избыточные концентрации ТМ, поступающие из почвы.

Растения лесостепной зоны Новосибирской области в целом близки по элементному химическому составу (таблица 3). Полынь Сиверса характеризуется самым высоким содержанием в надземной части ТМ, за исключением Cr. Тысячелистник характеризуется самой низкой аккумуляцией Pb и Cu в надземной части, ромашка — Cr. Крапива отличается наибольшей аккумуляцией Cr в надземной части среди рассматриваемых видов растений Новосибирской области.

Фракционный состав ТМ в лекарственных растениях импактных территорий Ростовской и Новосибирской областей характеризуется преобладанием водной фракции (I) над водно-спиртовой (II) (рисунки 1, 2).

Можно отметить, что в основном в отвары (ФИ) переходит до 3 раз больше ТМ, чем в настои (ФII), за исключением Pb, для которого характерна обратная закономерность. Металлы по степени экстрагируемости в водный отвар (ФИ) из надземных органов растений степной зоны образуют следующий ряд (%): Cr (1–5) < Pb (13–20) < Cu (5–41). В условиях техногенного загрязнения почв Ростовской области концентрации ТМ,

извлекаемых в кислотные экстракты, уменьшаются в следующем ряду: Cr > Pb > Cu (рисунок 1). Для Cr установлена наименьшая извлекаемость в легкорастворимые фракции (ФИ и ФII) среди всех рассматриваемых элементов, составляющая 1–5 и 1–4 % для надземной части и 1–5 и 1–8 % для корней, при самой высокой доле силикатной фракции в надземной части (26–44 %) (рисунок 1). Для Cu характерна высокая степень извлечения из надземной части растений, особенно пижмы, в отвары и спиртовые растворы (ФИ и ФII). Сумма первых двух фракций (ФИ и ФII) Cu в растениях составляет 37–57 %. Pb является одним из самых легко извлекаемых ТМ среди изучаемых. Для данного элемента установлена наиболее высокая доля извлекаемой спиртом фракции, а сумма ФИ и ФII составляет 25–59 % в надземной части и 11–57 % в корнях, что говорит о высокой опасности элемента в случае загрязнения им лекарственного растительного сырья.

По экстрагируемости в отвары из надземных органов растений лесостепной зоны ТМ распределяются следующим образом (%): Cr (0) < Pb (6–11) < Cu (7–23) (рисунок 2). Полученные данные свидетельствуют о более высокой экстрагирующей способности водной экстракции по сравнению с водно-спиртовым настоем, что согласуется с представлениями о присутствии части ТМ в лекарственном растительном сырье в водорастворимых и легкоэкстрагируемых формах² [20].

Превалирующей как в надземных частях, так и в корнях является солянокислая фракция (III) ТМ. Выявлено более высокое содержание прочносвязанных ТМ в кислотной (IV) и силикатной (V) фракциях в корнях, чем в побегах [21]. В растениях Новосибирской области ряд ТМ, извлекаемых в кислотные экстракты, имеет следующий вид: Cu > Cr > Pb.

В отвары (ФИ) извлекается 7–25 % Cu (23 % из надземной части чистотела и 25 % из корней одуванчика), в настои (ФII) — 6–16 % (16 % из корней цикория) (рисунок 2). Наибольшую долю в растениях импактной территории занимает солянокислая фракция Cu (ФIII): до 77 % в надземных органах и 54 % в корнях. В целом распределение фракционного состава Cu соответствует данным, полученным на фоновых территориях, что, вероятно, подчеркивает биофильную природу данного элемента. Так же, как и в фоновых, в растениях импактной территории отмечается значительная доля солянокислой фракции (ФIII) Pb в надземных органах, а в корнях превалирует кислотная фракция (ФIV) (рисунок 2).

² Гравель И.В., Шойхет Ю.Н., Яковлев Г.Н. и др. Фармакогнозия. Экоотоксиканты в лекарственном растительном материале и фитопрепаратах. М. : ГЕОТАР-Медиа, 2013.

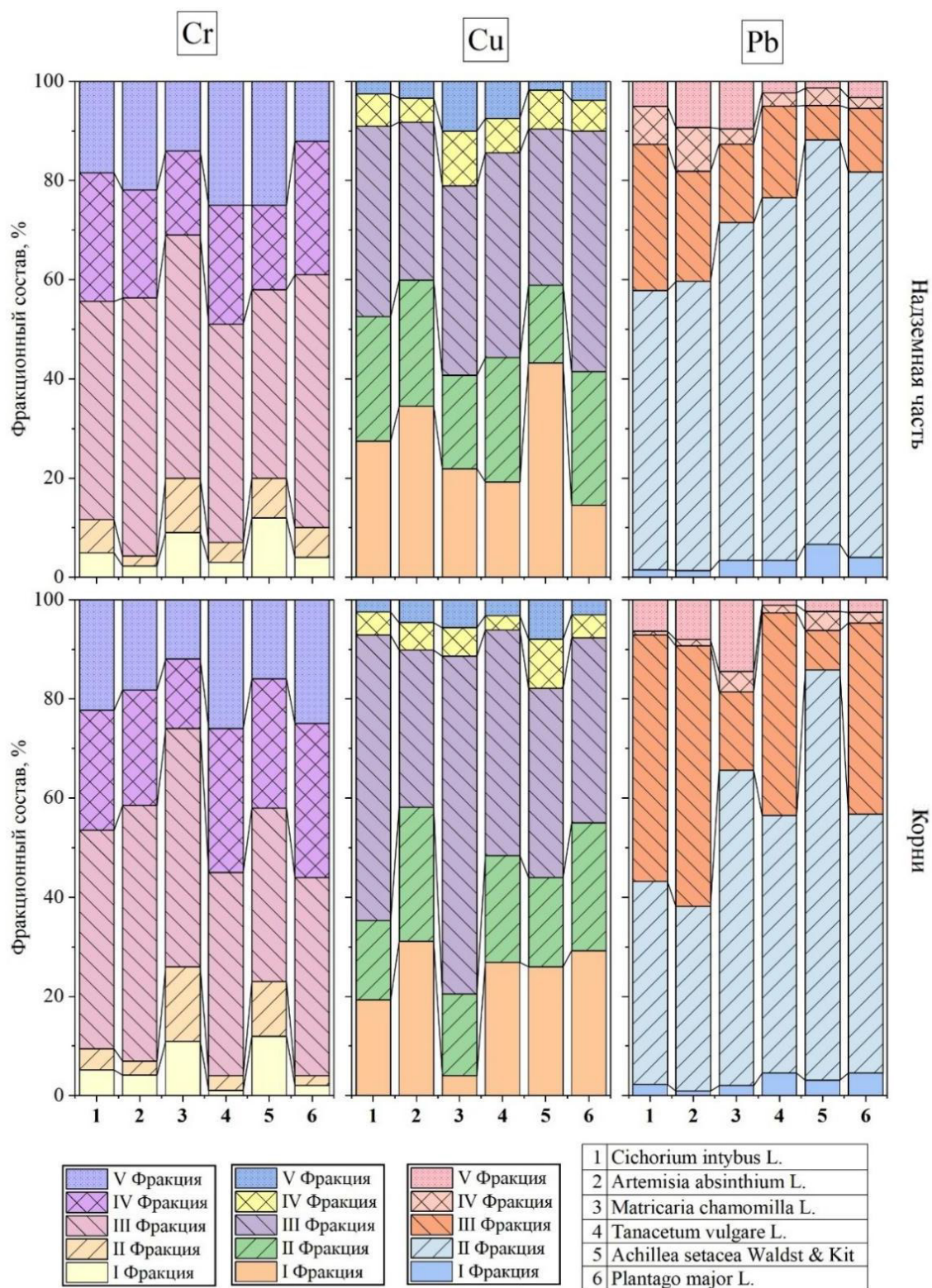


Рисунок 1

Фракционный состав соединений Cr, Cu и Pb в дикорастущих лекарственных растениях импактной территории Ростовской области

Figure 1

Fractional composition of Cr, Cu, and Pb compounds in wild medicinal plants from the impact area of the Rostov Region

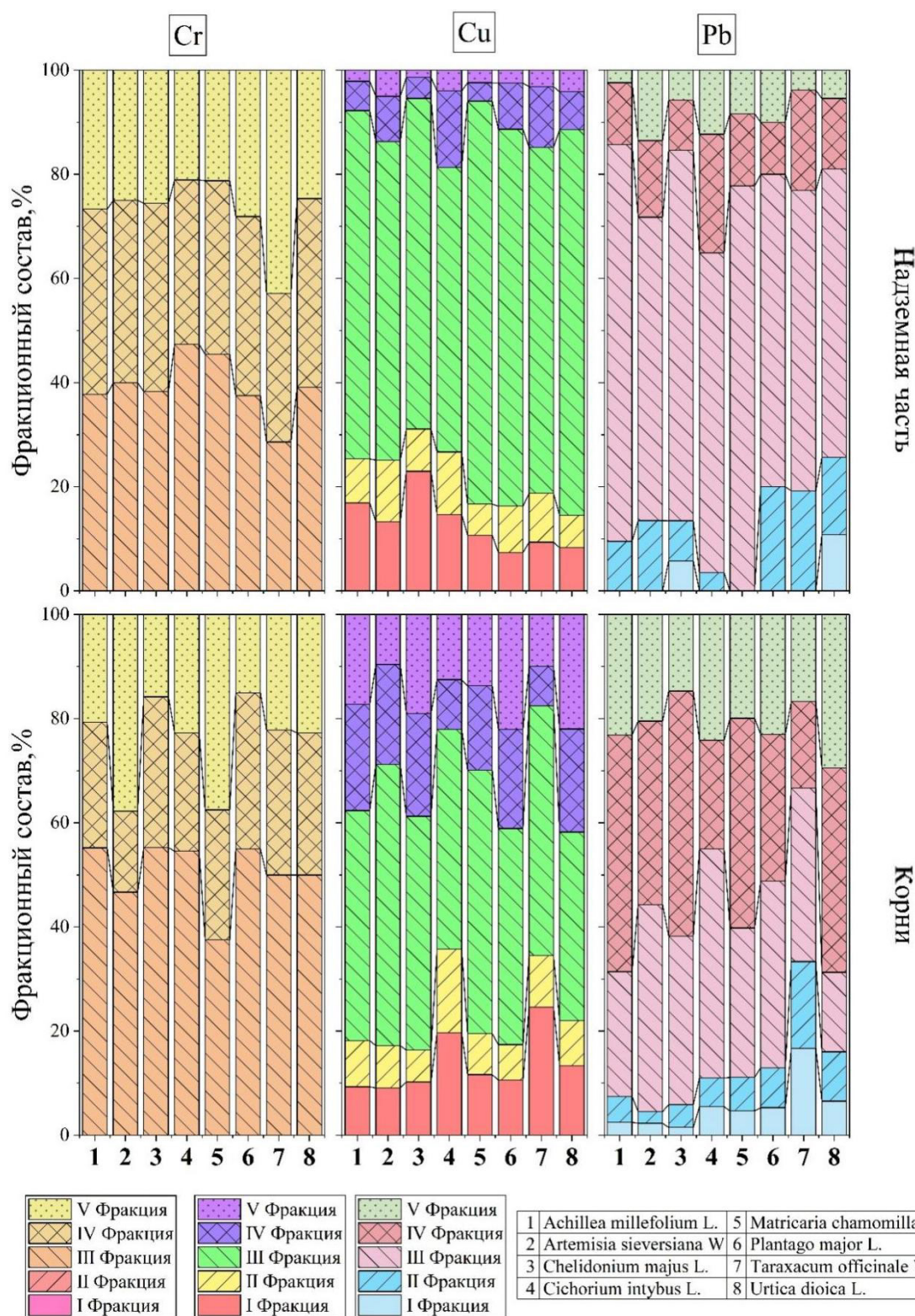


Рисунок 2

Фракционный состав соединений Cr, Cu и Pb в дикорастущих лекарственных растениях импактной территории Новосибирской области

Figure 2

Fractional composition of Cr, Cu, and Pb compounds in wild medicinal plants from the impact area of the Novosibirsk Region

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены региональные биогеохимические особенности фракционного состава соединений Cr, Cu и Pb в дикорастущих лекарственных травянистых растениях степной и лесостепной природных зон юга европейской части России и юго-востока Западной Сибири с использованием авторской схемы фракционирования ТМ, основанной на определении 5 фракций ТМ, различающихся по степени их экстрагируемости из растений.

Выявлены общие закономерности и специфические особенности изменения фракционного состава ТМ в лекарственных растениях степной и лесостепной зон в условиях загрязнения. Установлено значительное варьирование фракционного состава металлов в растениях импактных территорий, зависящее как от биологических особенностей растений и химических свойств металлов, так и от региональных особенностей и уровня техногенной нагрузки. При накоплении металлов в растениях увеличивается доля Cr, Cu и Pb во всех фракциях, особенно в наиболее экстрагируемых формах. Наряду с увеличением абсолютного содержания ТМ во всех фракциях происходит изменение в распределении фракций в зависимости от особенностей металла и вида растения. Превалирующей фракци-

ей в надземной части и в корнях растений является солянокислая (ФIII). Анализ отваров, настоек и солянокислых вытяжек выявил зависимость степени экстрагирования ТМ от их физико-химических свойств, видовых особенностей лекарственных растений и природы экстрагента. Наибольшая экстрагируемость в отвары и настои из растений импактной территории Новосибирской области наблюдается для соединений Cu, для растений импактной зоны Ростовской области — для Cu и Pb. При увеличении техногенной нагрузки в надземных частях растений отмечается увеличение доли металлов в отварах и настоях по сравнению с корнями, что свидетельствует о повышении потенциальной опасности использования таких лекарственных растений. Распределение элементов по фракциям зависит от природы металла и индивидуальной специфики каждого вида растения, общей закономерности для семейств не установлено.

Таким образом, полученные данные по фракционному составу соединений ТМ в растениях степных и лесостепных зон позволят не только выявить региональную и видовую биогеохимическую специфику накопления их в лекарственном сырье, но и разработать научно обоснованные критерии экологической и санитарной безопасности дикорастущих лекарственных растений.

Вклад авторов

В. А. Чаплыгин: разработка концепции, научное руководство, администрирование проекта, написание черновика рукописи, рецензирование и редактирование.

Т. И. Сиромля: разработка методологии, проведение исследования, формальный анализ, валидация результатов, визуализация.

Н. П. Черникова: проведение исследования, формальный анализ, курирование данных, валидация результатов.

А. В. Барахов: проведение исследования, формальный анализ, визуализация.

А. Е. Смехунов: проведение исследования, формальный анализ, курирование данных.

А. А. Бадмаева: проведение исследования, формальный анализ, рецензирование и редактирование.

Contributions

V. A. Chaplygin: conceptualization, supervision, project administration, writing-original draft, writing-review & editing.

T. I. Siromlya: methodology, investigation, formal analysis, validation, visualization.

N. P. Chernikova: investigation, formal analysis, data curation, validation.

A. V. Barakhov: investigation, formal analysis, visualization.

A. E. Smekhunov: investigation, formal analysis, data curation.

A. A. Badmaeva: investigation, formal analysis, writing-review & editing.

Ч. Кесвани: формальный анализ, визуализация, написание черновика рукописи.

С. С. Манджиева: проведение исследования, формальный анализ, валидация результатов, рецензирование и редактирование.

Т. М. Минкина: предоставление ресурсов, разработка концепции, научное руководство, рецензирование и редактирование.

C. Keswani: formal analysis, visualization, writing-original draft.

S. S. Mandzhieva: investigation, formal analysis, validation, writing-review & editing.

T. M. Minkina: resources, conceptualization, supervision, writing-review & editing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Коровин А.А., Безгина Ю.А., Зеленская Т.Г. и др. Адаптация приемов биологизации земледелия для решения проблем аграрного производства. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2023;3(51):41-46. <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2023-14-51-41-46>
2. Korovin A.A., Bezgina JU.A., Zelenskaya T.G. et al. The future of soil fertility lies in the biologization of the farming system. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2023;3(51):41-46. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2023-14-51-41-46>
3. Зеленская Т.Г., Коровин А.А., Безгина Ю.А. и др. Новые технологии в растениеводстве как условие экологической и продовольственной безопасности. *Вестник АПК Ставрополя*. 2022;1(45):32-36.
Zelenskaya T.G., Korovin A.A., Bezgina Ju.A. et al. New technologies in crop production as a condition for environmental and food security. *Agricultural Bulletin of Stavropol region*. 2022;1(45):32-36. (In Russ.)
4. Baenguev B., Belogolova G., Chuparina E. et al. Arsenic and heavy metals in reclaimed soils of sulfide-containing waste dumps: contamination levels, spatial distribution, bioavailability, and health risk assessment. *Environmental Research*. 2026;124544. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2026.124544>
5. Alloway B.J. *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. 3rd edn. Springer. 2013. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-4470-7>
6. Марцев А.А., Селиванов О.Г., Курбатов Ю.Н. и др. Загрязнение почв города с машиностроительным производством тяжелыми металлами и мышьяком и эпидемиологический риск для здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2024;103(3):212-220. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-3-208-215>
Martsev A.A., Selivanov O.G., Kurbatov Y.N. et al. Soil pollution of the city with machine-building production by heavy metals and arsenic and epidemiological risk to public health. *Hygiene and Sanitation*. 2024;103(3):212-220. (In Russ.) <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-3-208-215>
7. Бойко Н.Н., Бондарев А.В., Жиликова Е.Т. и др. Фитопрепараты, анализ фармацевтического рынка Российской Федерации. *Научный результат. Медицина и фармация*. 2017;3(4):30-38. <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2017-3-4-30-38>
Boyko N.N., Bondarev A.V., Zhilyakova E.T. et al. Phytodrugs, analysis of Russian Federation pharmaceutical market. *Scientific Result. Medicine and Pharmacy*. 2017;3(4):30-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2017-3-4-30-38>
8. Щукин В.М., Кузьмина Н.Е., Швецова Ю.Н. и др. Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов и мышьяка в различных лекарственных формах растительных препаратов российского фармацевтического рынка. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения*. 2020;10(1):41-50. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2020-10-1-41-50>
Shchukin V.M., Kuz'mina N.E., Shvetsova Yu.N. et al. Comparative Analysis of Heavy Metal and Arsenic Content in Various Herbal Dosage Forms Marketed in Russia. *The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products*. 2020;10(1):41-50. (In Russ.) <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2020-10-1-41-50>

9. Hlihor R.M., Roşca M., Hagiu-Zaleschi L. et al. Medicinal plant growth in heavy metals contaminated soils: responses to metal stress and induced risks to human health. *Toxics*. 2022;10(9):499. <https://doi.org/10.3390/toxics10090499>
10. Bakshe P., Jugade R. Phytostabilization and rhizofiltration of toxic heavy metals by heavy metal accumulator plants: A comprehensive review. *Journal of Hazardous Materials*. 2023;10:100234. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100293>
11. Huang W., Zhang C., Zhu B. et al. Systematic evaluation of plant metals/metalloids accumulation efficiency: a global synthesis of bioaccumulation and translocation factors. *Frontiers in Plant Science*. 2025;16:1602951. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1602951>
12. Чаплыгин В.А., Бурачевская М.В., Минкина Т.М. и др. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в почвах и лекарственных растениях импактной зоны Новочеркасской ГРЭС. *Почвоведение*. 2024;10:1424-1438. <https://doi.org/10.31857/S0032180X24100116>
Chaplygin V.A., Burachevskaya M.V., Minkina T.M. et al. Accumulation and distribution of heavy metals in soils and medicinal plants in the impact zone of Novocherkassk power station. *Eurasian Soil Science*. 2024;10:1424-1438. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0032180X24100116>
13. Сиромля Т.И., Бурачевская М.В., Манджиева С.С. и др. Фракционно-групповой состав соединений Cr, Ni и Mn в основных типах почв фоновых и загрязненных территорий лесостепной зоны Новосибирской области. *Почвоведение*. 2025;2:229-244.
Siromlya T.I., Burachevskaya M.V., Mandzhieva S.S. et al. Fractional and group composition of Cr, Ni, and Mn compounds in the main types of soils in background and contaminated areas in the forest-steppe zone in Novosibirsk Oblast. *Eurasian Soil Science*. 2025;2:229-244. (In Russ.)
14. Цховребов В.С., Вовк А.М. Сезонная динамика питательных элементов в черноземе выщелоченном при внесении фосфатных удобрений в посевах подсолнечника в условиях Ставропольской возвышенности. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2025;15(4):47-56. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-47-56> EDN OPTGUA
Tskhovrebov V.S., Vovk A.M. Seasonal dynamics of nutrients in leached chernozem under phosphate fertilizer application in sunflower crops in the conditions of the Stavropol Upland. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2025;15(4):47-56. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-4-47-56>
15. Чумакова В.В., Миронова Т.М., Чумаков В.Ф. и др. Ресурсный потенциал дикорастущих популяций ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах России: результаты экспедиционных обследований. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2025;15(3):88-97. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-3-88-97> EDN RMHLMQ
Chumakova V.V., Mironova T.M., Chumakov V.F. et al. Resource Potential of Wild Populations of Orchard Grass (*Dactylis glomerata* L.) from the Southern and North Caucasian Federal Districts of Russia: Findings from an Expedition Survey. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*. 2025;15(3):88-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-3-88-97>
16. Мяделец М.А., Сиромля Т.И., Охлопкова О.В. и др. Содержание химических элементов и биологически активных веществ в листьях подорожника большого (*Plantago Major* L.) в условиях антропогенно нарушенных местообитаний. *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2015;132(1):94-97.
Myadelets M.A., Siromlya T.I., Okhlopko O.V. et al. The content of chemical elements and biologically active substances in the leaves of plantain large (*Plantago Major* L.) in conditions of anthropogenic disturbed habitats. *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*. 2015;132(1):94-97.
17. Сиромля Т.И., Загурская Ю.В. Элементный химический состав *Hypericum Perforatum* — ненормируемые элементы. *Химия растительного сырья*. 2019;2:179-187.
Siromlya T.I., Zagurskaya Yu.V. Chemical element composition of *Hypericum Perforatum* plants: elements which concentrations are not regulated. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2019;2:179-187. (In Russ.)
18. Шаболкина Е.Н., Долженко Д.О., Долженко Н.Э. и др. Качество зерна сортов озимой мягкой пшеницы селекции Самарского НИИСХ в Степном Заволжье. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2025;20(4(80)):70-76. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2025-20-4-70-76>
Shabolkina E.N., Dolzhenko D.O., Dolzhenko N.E. et al. Grain quality of winter common wheat varieties bred by samara research institute in the steppe Trans-Volga Region. *Bulletin of Kazan State Agrarian University*. 2025;20(4(80)):70-76. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2025-20-4-70-76>

19. Государственная фармакопея Российской Федерации / Министерство здравоохранения Российской Федерации. М., 2018.
The State Pharmacopoeia of the Russian Federation / Ministry of Health of the Russian Federation. М., 2018. (In Russ.)
20. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., 1957. 237.
Vinogradov A.P. Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils. Moscow, 1957. 237. (In Russ.)
21. Танцерева И.Г., Попов А.И., Чистохин Ю.Г. и др. Эколого-фармакогностическое исследование некоторых лекарственных растений Кемеровской области. *Медицина в Кузбассе.* 2006;5(2):23-27.
Tantsereva I.G., Popov A.I., Chistokhin Yu.G. et al. Ecological and pharmacognostic research of some medicinal plants of the Kemerovo region. Medicine in Kuzbass. 2006;5(2):23-27. (In Russ.)
22. Сиромля Т.И. Влияние загрязнения от автотранспорта на экологическое состояние подорожника большого (*Plantago major* L.). *Сибирский экологический журнал.* 2011;5:677-688.
Siromlya T.I. Influence of traffic pollution on ecological state of Plantago major L. Siberian Ecological Journal. 2011;5:677-688. (In Russ.)

Сведения об авторах

Чаплыгин Виктор Анатольевич —

кандидат биологических наук, доцент, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-1142-7750>

SPIN-код: 6895-8591

chaplygin@sfedu.ru

Сиромля Татьяна Ивановна —

доктор биологических наук, научный сотрудник, Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-0155-2283>

SPIN-код: 2659-9471

siromlya@issa-siberia.ru

Черникова Наталья Петровна —

научный сотрудник, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-4188-727X>

SPIN-код: 8882-7985

nchernikova@sfedu.ru

Барахов Анатолий Вадимович —

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-0467-729X>

SPIN-код: 3626-9222

barahov@sfedu.ru

About the authors

Viktor A. Chaplygin —

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-1142-7750>

chaplygin@sfedu.ru

Tatiana I. Siromlya —

Dr. Sci. (Biol.), Researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-0155-2283>

siromlya@issa-siberia.ru

Natalia P. Chernikova —

Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4188-727X>

nchernikova@sfedu.ru

Anatoly V. Barakhov —

Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-0467-729X>

barahov@sfedu.ru

Смехунов Анатолий Евгеньевич —

лаборант-исследователь, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0009-0007-8080-1498>

asmekhunov@sfedu.ru

Бадмаева Алина Артуровна —

лаборант, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0009-0000-8032-7318>

SPIN-код: 1897-4163

badmae@sfedu.ru

Четан Кесвани —

PhD, ведущий научный сотрудник, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-2786-121X>

kesvani@sfedu.ru

Манджиева Саглара Сергеевна —

кандидат биологических наук, главный научный сотрудник, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Калмыцкий научный центр РАН, Элиста, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-6000-2209>

SPIN-код: 7305-6490

msaglara@sfedu.ru

Минкина Татьяна Михайловна —

профессор, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-3022-0883>

SPIN-код: 3863-6522

minkina@sfedu.ru

Anatoly E. Smekhunov —

Laboratory Assistant Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0009-0007-8080-1498>

asmekhunov@sfedu.ru

Alina A. Badmaeva —

Laboratory Assistant, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0009-0000-8032-7318>

badmae@sfedu.ru

Chetan Keswani —

PhD, Leading Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-2786-121X>

kesvani@sfedu.ru

Saglara S. Mandzhieva —

Cand. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Kalmyk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Elista, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-6000-2209>

msaglara@sfedu.ru

Tatiana M. Minkina —

Professor, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-3022-0883>

minkina@sfedu.ru